

การปรับปรุงค่ารััดแหวนสำหรับแมคคานิคอลซีล

**ENHANCED SHRINK-FIT PARAMETERS
FOR MECHANICAL SEAL**

อาทิตย์ แสนนาม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การปรับปรุงคำรัดแหวนสำหรับแมคคานิคอลซีล

อาทิตย์ แสหนาม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงค่ารัศเหวนสำหรับแมคคานิคอลซีล
ชื่อ-นามสกุล	นายอาทิตย์ แสนนาม
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

แมคคานิคอลซีลที่อยู่ในปั้มหอยโข่งในงานอุตสาหกรรมใช้งานความดันสูงและอุณหภูมิสูง การเลือกแมคคานิคอลซีลแบบฝังเหวนเนื่องมาจากสามารถซ่อมแมคคานิคอลซีลได้ง่ายและใช้เวลาไม่นาน แต่การฝังเหวนนี้จะไม่สามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิสูงได้นานๆ หรือเมื่อใช้งานได้ ระยะเวลาหนึ่งก็เกิดการหลุดของเหวนที่ใช้ทำหน้าที่สัมผัสแมคคานิคอลซีล เป็นผลให้เกิดปัญหาการรั่วไหล และเกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์

งานวิจัยนี้ได้มีการปรับปรุงค่ารัศเหวนโดยการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ ค่าความเค้นที่ใช้ 5.1515×10^8 Pa ในการทดสอบจะใช้สแตนเลส เกรด 304 และ 316 มาใช้เป็นวัสดุเสื่อรัศเหวนคาร์บอน ในการทดสอบนำสเตรนเกจมาติดตั้งที่ชุดแมคคานิคอลซีลแบบฝังเหวน จากนั้นนำแมคคานิคอลซีลไปทดสอบแบบอยู่กับที่ ใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50 ถึง 150 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงความเครียด เนื่องจากการขยายตัวของแมคคานิคอลซีลแบบฝังเหวนจากมิเตอร์วัดความเครียด ทำการทดสอบแบบอยู่กับที่และทดสอบแบบหมุนที่ ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที โดยทั้งสองแบบ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดันคงที่ 20 บาร์

ดังนั้นจากการปรับปรุงค่ารัศเหวนจากค่าใช้งานปกติอุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส และความดันในช่วง 2 ถึง 20 บาร์ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นใช้งานได้ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 20 บาร์ โดยค่าความเค้นต่ำกว่าค่าที่เกิดรั่วไหล และ ผลจากการทดลองอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ 150 องศาเซลเซียส ความดันคงที่ 20 บาร์ ใช้เวลา 30 นาที ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ไม่พบการรั่วที่ขอบเหวนของชุดแมคคานิคอลซีล

คำสำคัญ: ค่ารัศเหวน อุณหภูมิ แมคคานิคอลซีล

Thesis Title	Enhanced Shrink-fit Parameters for Mechanical Seal
Name - Surname	Mr. Arthit Saennam
Program	Mechanical Engineering
Thesis Advisor	Dr. Pipat Pramot
Academic Year	2011

ABSTRACT

Mechanical seals are usually installed in centrifugal pumps that work under high pressure and high temperature condition in several industries. The ring-inset mechanical seal is selected because it can easily be repaired in brief duration. Nevertheless, disadvantage remains: such ring-inset type can hardly undergo high temperature in lengthy time. After a while, the ring is likely to slip off the mechanical seal then causes a leakage as well as product damages.

This research has enhanced the shrink-fit parameter through an analysis by a finite element program. In the experiments, stress level was applied at 5.1515×10^8 Pa and the 304 and 316 stainless grades were used as a carbon-ring jacket. Then, a strain gauge was installed at the ring-inset mechanical seal. Thereafter, the mechanical seal was tested for a stationary heat resistance with ranging from 50 to 150 degree celsius and the temperature was increasing by 10 degree celsius each time. Meanwhile, the tension meter was reading for a tension values due to the mechanical seal expansion that caused by heat. These conditions were used for both a stationary test and an 1,450-rpm rotating test. Also, both tests were performed under 150 degree celsius at 20-bar constant pressure.

By using a finite element program, the shrink-fit parameters had been enhanced from the regular operation, which was 100 degree celsius at the pressure from 2 bar up to 20 bar, into better operation and able to resist the temperature for 150 degree celsius at 20-bar pressure with a result of a stress level lower than the leakage level. Furthermore, under a 30-minute experiment of 150 degree celsius, 20-bar constant pressure and 1,450 rpm speed, there was no leakage on the ring-edge inset in the mechanical seal.

Keywords: shrink – fit, temperature, mechanical seal

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.มนูศักดิ์ จานทอง กรรมการ ดร.ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์ กรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คุณเหรียญ ชีวนันท์ ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม บริษัท ซี โร-ลีก ผู้ผลิตแมคคานิคอลซีล ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูล และ ชิ้นงานทดสอบ เป็นผลให้งานวิจัยประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี จึงใคร่ขอขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้ นอกเหนือจากนี้ขอขอบคุณผู้บริหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่มอบทุนสนับสนุนพัฒนาบุคลากรตลอดระยะเวลาในการศึกษาของผู้วิจัย

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

อาทิตย์ แสนนาม

สารบัญ

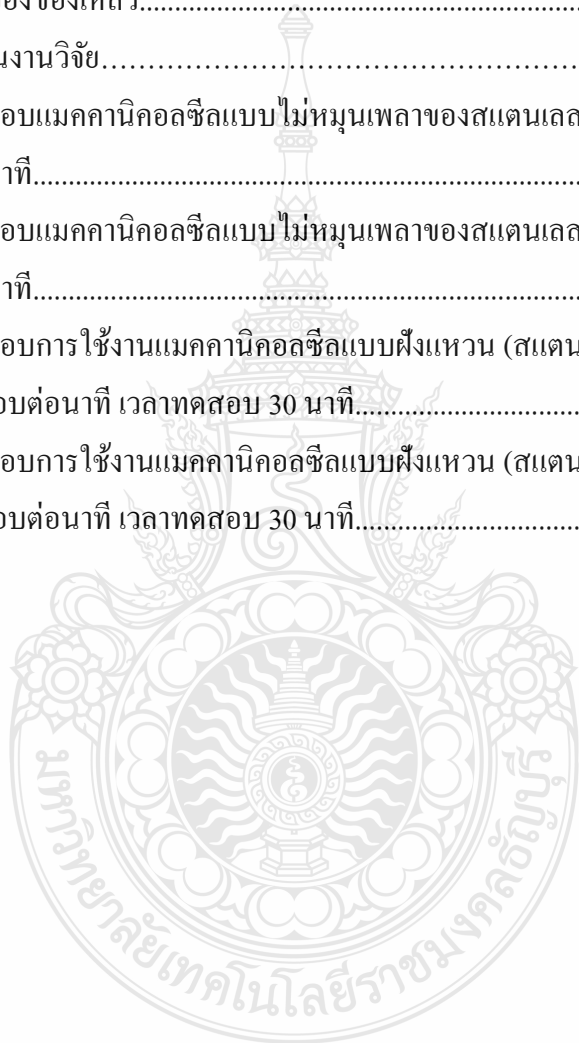
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	2
1.5 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทบทวนทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของแมคคานิคอลซีล.....	4
2.2 ประเภทแมคคานิคอลซีลแบ่งตามการติดตั้ง.....	6
2.3 ประเภทแมคคานิคอลซีลแบ่งตามการออกแบบ.....	8
2.4 อัตราสมมูล.....	10
2.5 คุณสมบัติของหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล.....	13
2.6 อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด หรือสเตรนเกจ (Strain Gauge).....	16
2.7 ความเค้น (Stress)	19
2.8 ความเค้นและความเครียดเนื่องจากความร้อน.....	19
2.9 สมการเชิงอนุพันธ์ในระบบพิกัดทรงกระบอก.....	19
2.10 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	26
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย.....	26
3.2 เงื่อนไขการทำงานของปั๊มชุดทดสอบ.....	26
3.3 การออกแบบ.....	27
3.4 วิธีวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์.....	28
3.5 การเลือกชนิดแมคคานิคอลซีลที่เหมาะสม.....	28
3.6 ผลิตซ์ขึ้นส่วนของแมคคานิคอลซีลแบบฟุ้งแหวน.....	29
3.7 วิธีการประกอบแหวนคาร์บอนแอนติโมนีเข้าสู่สแตนเลส.....	29
3.8 การตั้งค่าเครื่องตรวจวัดค่าความเครียด TC-31K	31
3.9 การติดตั้งสเตรนเกจ.....	32
3.10 การทดลองและการเก็บข้อมูล.....	33
3.11 แนวทางการแก้ไข.....	35
4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	36
4.1 ผลการวิเคราะห์ของแมคคานิคอลซีลแบบฟุ้งแหวน.....	36
4.2 ผลการทดลองของแมคคานิคอลซีลแบบฟุ้งแหวน.....	37
5 สรุปผลดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	44
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....	44
5.2 สรุปผลการวิเคราะห์จากการทดลองจริง.....	45
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	47
รายการอ้างอิง.....	48
ภาคผนวก.....	49
ก คู่มือการใช้สเตรนเกจ.....	50
ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	57
ประวัติผู้เขียน.....	68

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 วัสดุที่ใช้ทำหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล และขีดจำกัดของค่า PV.....	13
2.2 คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทำผิวหน้าแมคคานิคอลซีล.....	15
2.3 คุณสมบัติของวัสดุสแตนเลสที่นำมาใช้เป็นสื่อของแมคคานิคอลซีล.....	15
2.4 อัตราการรั่วไหลของของเหลว.....	22
3.1 แผนงานการดำเนินงานวิจัย.....	26
4.1 บันทึกผลการทดสอบแมคคานิคอลซีลแบบไม่หมุนเพลลาของสแตนเลส 304 ความดัน 20 บาร์ เวลา 30 นาที.....	38
4.2 บันทึกผลการทดสอบแมคคานิคอลซีลแบบไม่หมุนเพลลาของสแตนเลส 316 ความดัน 20 บาร์ เวลา 30 นาที.....	40
4.3 บันทึกผลการทดสอบการใช้งานแมคคานิคอลซีลแบบฝิ่งแหวน (สแตนเลส 304) ความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที เวลาทดสอบ 30 นาที.....	42
4.4 บันทึกผลการทดสอบการใช้งานแมคคานิคอลซีลแบบฝิ่งแหวน (สแตนเลส 316) ความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที เวลาทดสอบ 30 นาที.....	43



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แมคคานิกคอลลีชันแบบฟุ้งแหวน.....	1
1.2 แมคคานิกคอลลีชันใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียสแล้วแหวนหลุด.....	2
2.1 ส่วนประกอบแมคคานิกคอลลีชัน.....	5
2.2 แมคคานิกคอลลีชันแบบเดี่ยว (ภายในบีม).....	6
2.3 แมคคานิกคอลลีชันแบบเดี่ยว (ภายนอกบีม).....	7
2.4 แมคคานิกคอลลีชันแบบหันหน้าเข้าหน้ากัน	7
2.5 แมคคานิกคอลลีชันแบบหันหน้าสัมผัสออกจากกัน	7
2.6 แมคคานิกคอลลีชันแบบเรียงขนาน	8
2.7 แมคคานิกคอลลีชันแบบสำเร็จรูป.....	8
2.8 แมคคานิกคอลลีชันแบบไม่สมดุล.....	9
2.9 แมคคานิกคอลลีชันแบบสมดุล.....	9
2.10 แบบใช้สปริงเดี่ยว.....	9
2.11 แบบใช้สปริงชุด.....	9
2.12 อัตราสมดุลของแรงที่กระทำบนแมคคานิกคอลลีชัน.....	11
2.13 การเกิดค่าความต้านทานอันเนื่องมาจากความเครียด.....	16
2.14 วงจรแบ่งแรงดัน หรือวงจร โฟเทนชั่นมิเตอร์.....	18
2.15 วงจรวิทสโตนบริดจ์แบบสี่แขน.....	18
2.16 เอลิเมนต์วงแหวนภายใต้สภาวะความเค้น.....	20
2.17 แมคคานิกคอลลีชัน.....	23
2.18 แหวนแบบสไลด์.....	23
2.19 แมคคานิกคอลลีชัน.....	24
2.20 แหวนแบบสไลด์.....	25
3.1 ขั้นตอนการทำทดสอบแมคคานิกคอลลีชัน.....	27
3.2 ระยะเวลาในการออกแบบแมคคานิกคอลลีชัน.....	28
3.3 แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแมคคานิกคอลลีชันแบบฟุ้งแหวน.....	28
3.4 การกำหนดอุณหภูมิ.....	29
3.5 เลือกรดแหวนและแหวนคาร์บอนแอนติโมนีก่อนการฟุ้งแหวน.....	30

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.6 เสื่อรัดแหวนและแหวนคาร์บอนแอนดิมอนิหลังการฝังแหวน	30
3.7 ชุดแม่คานิคอลซิลแบบฝังแหวน.....	31
3.8 ขั้นตอนการติดตั้งสแตนเกจ.....	33
3.9 ดิคสเตรนเกจที่แม่คานิคอลซิลแบบฝังแหวน.....	34
3.10 เครื่องทดสอบแม่คานิคอลซิล.....	35
4.1 ผลการวิเคราะห์ความเค้นด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	36
4.2 ผลการวิเคราะห์ความเค้นด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	37
4.3 ทดสอบการแม่คานิคอลซิลฝังแหวนแบบไม่เคลื่อนที่.....	38
4.4 ความดันและอุณหภูมิที่ทดสอบสแตนเลส 304.....	39
4.5 ผลการทดสอบการแม่คานิคอลซิลฝังแหวนสแตนเลสเกรด 304.....	39
4.6 ความดันและอุณหภูมิที่ทดสอบสแตนเลส 316.....	40
4.7 ผลการทดสอบการแม่คานิคอลซิลฝังแหวนสแตนเลสเกรด 316.....	41
4.8 ทดสอบการแม่คานิคอลซิลฝังแหวนแบบหมุนเพลลา.....	42
5.1 ผลการวิเคราะห์ความเค้นบนชิ้นงานด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์.....	44
5.2 ชิ้นงานที่ใช้งานอุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส.....	45
5.3 แม่คานิคอลซิลก่อนฝังแหวน.....	45
5.4 แม่คานิคอลซิลหลังฝังแหวน.....	46
5.5 ชุดแม่คานิคอลซิลแบบฝังแหวน.....	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นับตั้งแต่ประเทศไทยก้าวเข้าสู่อุตสาหกรรม ไทยต้องใช้จ่ายเงินเป็นจำนวนมากในการสั่งซื้อเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการผลิตจากต่างประเทศ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่ใช้ แมคคานิคอลซีล (Mechanical Seal) เป็นหนึ่งในบรรดาอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาสูง เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ต้องการระดับความเชื่อมั่นในการทำงานสูงวัสดุที่ใช้ผลิตแมคคานิคอลซีลมักเป็นวัสดุที่จัดอยู่ในราคาค่อนข้างสูง เช่น วัสดุจำพวกยางและพลาสติกสังเคราะห์ แมคคานิคอลซีล ที่กล่าวถึงข้างต้นนี้จะถูกนำไปใช้เป็นอุปกรณ์กันรั่วตามแกนเพลลาของปั๊มที่ทำงานโดยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump) ซึ่งเป็นเครื่องจักรหลักในอุตสาหกรรมที่ใช้ แมคคานิคอลซีล ที่อยู่ในปั๊มดังกล่าวมักมีความดันสูงและอุณหภูมิสูง ในการเลือกแมคคานิคอลซีลแบบฝั้วแหวนเนื่องจากสามารถซ่อมแมคคานิคอลซีลได้ง่ายและใช้เวลาไม่นาน แต่การฝั้วแหวนนี้จะไม่สามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิสูงได้ หรือเมื่อใช้งานได้ ระยะเวลาหนึ่งก็เกิดการหลุดของแหวนที่ใช้ทำหน้าที่สัมผัสแมคคานิคอลซีล เป็นผลให้เกิดปัญหาการรั่วไหล และเกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 1.1 แมคคานิคอลซีลแบบฝั้วแหวน

ดังนั้น หากสามารถพัฒนา แมคคานิคอลซีลแบบฝั้วแหวนให้มีประสิทธิภาพตามความต้องการของผู้ใช้งานสามารถป้องกันการรั่วไหลของของเหลวที่อยู่ในปั๊มได้ นั่นคือใช้งานที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ความดันมากกว่า 5 บาร์ มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าและ



ภาพที่ 1.2 แมคคานิคอลซีลใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียสแล้วแหวนหลุด

สามารถผลิตได้เองภายในประเทศโดยใช้วัสดุที่มีอยู่ในประเทศ ซึ่งจะเป็นการลดระยะเวลาในการรอชิ้นส่วนหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีลที่มาเปลี่ยน ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง เพิ่มความปลอดภัยในการทำงานให้แก่ผู้ปฏิบัติงานและสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้ใช้งานและเป็นการลดปริมาณการนำเข้าแมคคานิคอลซีล จากต่างประเทศอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษา การออกแบบลักษณะการฝังแหวนสำหรับ แมคคานิคอลซีลที่ใช้งานกับน้ำ
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาและปรับปรุงแมคคานิคอลซีลที่มีความเหมาะสมกับสภาวะการใช้งานที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง
- 1.2.3 เพื่อออกแบบและสร้างแหวนที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างแหวนปฐมภูมิคาร์บอนทำจากแอนติโมนี เป็นแบบฝังแหวนและใช้งานกับน้ำ
- 1.3.2 ในการทดลองแมคคานิคอลซีลแหวนปฐมภูมิคาร์บอนแอนติโมนีและฐานซีลซิลิโคนคาร์ไบด์ขนาดเพลา 1.125 นิ้ว เสื่อสแตนเลส 304 และเสื่อสแตนเลส 316 โอริงแอฟลาฟ
- 1.3.3 ทดลองที่อุณหภูมิ 50 - 150 องศาเซลเซียส ความดัน 5-20 บาร์ ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,450 รอบต่อนาที

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีการออกแบบ แมคคานิคอลซีล
- 1.4.2 ออกแบบและสร้างแหวนปฐมภูมิคาร์บอนแอนติโมนีสำหรับแมคคานิคอลซีล

แบบฝังแหวน วิเคราะห์ความเค้นด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

1.4.3 วิเคราะห์ความเค้นด้วยสเตรนเกจ รุ่น ZFLA-6-11

1.4.4 นำแมคคานิคอลซีลไปติดตั้งทดสอบในการใช้งานภายใต้สภาวะการทำงาน

แบบจำลอง

1.5 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

1.5.1 โปรแกรมวิเคราะห์ความเค้นไฟไนต์เอลิเมนต์

1.5.2 ชุดเครื่องมือวัดความดันและอุณหภูมิ

1.5.3 ชุดบันทึกอัตราการรั่วซึมของเหลวจากปั๊ม

1.5.4 เครื่องมือตรวจสอบความเรียบของหน้าสัมผัส แมคคานิคอลซีล

1.5.6 ชุดเครื่องทดสอบแมคคานิคอลซีล

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถพัฒนาและปรับปรุงแมคคานิคอลซีลแบบฝังแหวนให้ดีกว่าแมคคานิคอลซีลแบบฝังแหวนที่ใช้อยู่เดิม

1.6.2 สามารถพัฒนาและปรับปรุงแมคคานิคอลซีลแบบฝังแหวนสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง

1.6.3 สามารถลดปริมาณการนำเข้าแมคคานิคอลซีลจากต่างประเทศ

บทที่ 2

ทบทวนทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและวิจัยสำหรับงานนี้ได้มีการศึกษาทบทวนทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยให้ผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ได้ผลประโยชน์และสอดคล้องต่อส่วนที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้ การบีบของเหลวจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งตามความต้องการของเรานั้น สามารถกระทำได้โดยใช้ปั๊ม แบบแรงเหวี่ยง ซึ่งมักจะมีปัญหาเกี่ยวกับการรั่วหยดระหว่างเพลากับเสื้อปั๊ม วิธีแก้ไขเพื่อมิให้มีการรั่วหยดของของเหลว ในสมัยเริ่มแรกของการมีปั๊มนั้น ทำได้โดยการใช้วัสดุคล้ายเชือกอ่อนๆ ที่เรียกว่า ประเก็นเชือก (Packing) อัดรอบๆ เพลาซึ่งประเก็นเชือกนี้จะถูกอัดเข้าระหว่างเพลากับช่องว่างของเสื้อปั๊ม (Stuffing Box) ที่ทำไว้เพื่อบรรจุประเก็นเชือกและจะมีแผ่นอัดประเก็น (Gland Follower) เป็นตัวอัดประเก็นเชือกระหว่างเพลากับเสื้อปั๊มให้แน่นและมีช่องว่างน้อยที่สุดเพื่อเป็นการป้องกันการรั่วไหล

แมคคานิคอลซีลเป็นตัวป้องกันการรั่วไหลของของเหลวและก๊าซทำให้ผลผลิตที่เป็นของเหลวหรือก๊าซไม่รั่วไหล ทั้งยังทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรสูงขึ้น หรือป้องกันการรั่วไหลของของเหลวหรือก๊าซที่มีอันตรายต่อบุคคล เช่น น้ำหรือน้ำร้อน น้ำมัน ในที่นี้จะกล่าวถึงแมคคานิคอลซีลที่ใช้งานในความดันสูงและอุณหภูมิสูง

2.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของแมคคานิคอลซีล

แมคคานิคอลซีลจำเป็นต้องมีชิ้นส่วนสำคัญสองชิ้นสัมผัสกันอยู่โดยชิ้นส่วนทั้งสองมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กันในแนวเส้นรอบวง การเคลื่อนที่สัมพันธ์กันในขณะที่แมคคานิคอลซีลทำงาน เป็นจุดที่แบ่งแยกให้แมคคานิคอลซีลมีข้อแตกต่างชัดเจนจากประเก็นเชือกธรรมดาถึงแม้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองจะมีหน้าที่คล้ายคลึงกัน จากภาพที่ 2.1 ได้แสดงให้เห็นถึงชิ้นส่วนสำคัญของแมคคานิคอลซีลซึ่งโดยทั่วไปจะมีวงแหวนสองวงเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน แหวนหนึ่งจะถูกตรึงอยู่กับชิ้นส่วนของปั๊ม ส่วนแหวนอีกวงหนึ่งจะยึดติดและหมุนไปพร้อมกับเพลาของปั๊ม โดยหน้าสัมผัสบนแหวนทั้งสองวงจะประกบสนิทกันอยู่แบบให้สามารถยืดหยุ่นได้เพื่ออนุญาตให้มีอิสระในการเคลื่อนไหวยในแนวแกนและการเคลื่อนไหวยเชิงมุม รวมทั้งการเอียงศูนย์กลางของเพลากับแนวแกนหมุนของเพลาสำหรับชิ้นส่วนหลักของแมคคานิคอลซีลมีดังต่อไปนี้

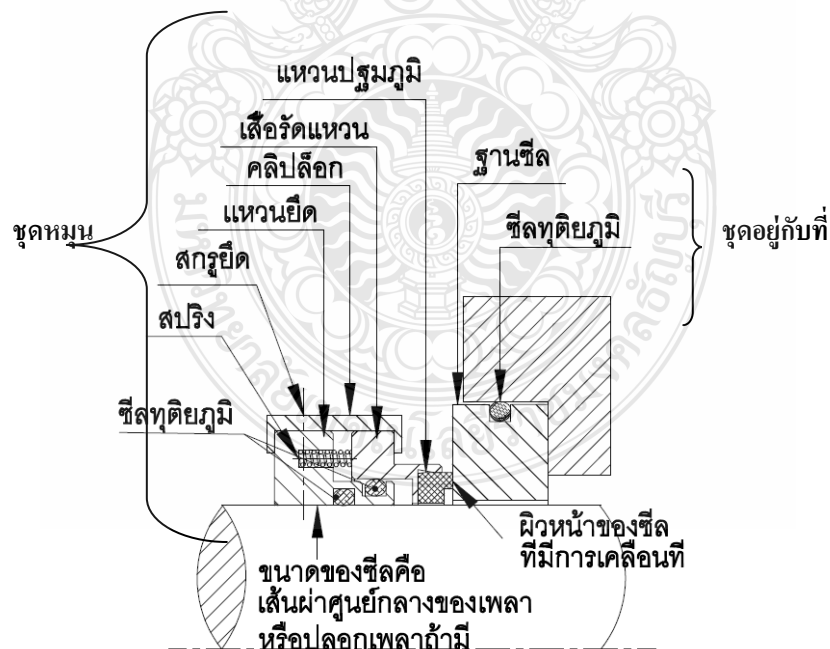
2.1.1 แหวนปฐมภูมิ (Primary Ring) เป็นวงแหวนที่ออกแบบให้มีการยืดหยุ่นขยับเขยื้อนเพื่อชดเชยการหมุนแบบเอียงศูนย์และการเคลื่อนที่ตามแนวแกนเพลลาได้เล็กน้อยและทำหน้าที่เป็นด้านหนึ่งของหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล

2.1.2 ฐานซีล (Stationary Ring) เป็นวงแหวนที่ยึดติดตรึงอยู่กับตัวเรือนของปั๊มทำหน้าที่เป็นหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล

2.1.3 ซีลทุติยภูมิ (Secondary Seal) เป็นชิ้นส่วนที่ช่วยให้แหวนปฐมภูมิมีความยืดหยุ่นในการเคลื่อนไหวในแนวแกนและแนวเส้นรอบวงได้เพียงเล็กน้อย ในขณะที่ชิ้นส่วนต่างๆ ยังคงทำหน้าที่การซีลได้อย่างถูกต้อง

2.1.4 สปริง (Spring) แมคคานิคอลซีลแบบทุกชนิดจะมีสปริงเป็นตัวสร้างแรงกดตามแนวรอบของหน้าสัมผัสทั้งสองปิดสนิทติดกันอยู่ตลอดเวลา เพื่อป้องกันการรั่วไหลระหว่างช่องว่างของหน้าสัมผัส

2.1.5 ชุดขับเคลื่อน (Drive Mechanism) เป็นชิ้นส่วนที่ทำให้แหวนปฐมภูมิมีการเคลื่อนที่หมุนไปพร้อมกับเพลลาของปั๊ม เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่สัมผัสกันระหว่างหน้าสัมผัสตามแนวแกนเพลลา



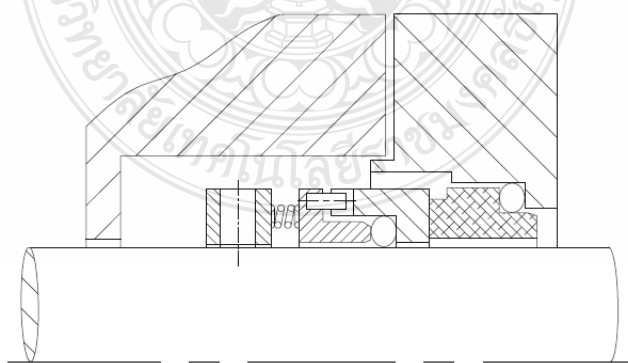
ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบชุดแมคคานิคอลซีล [1]

2.2 ประเภทแมคคานิคอลซีลแบ่งตามการติดตั้งสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มดังนี้

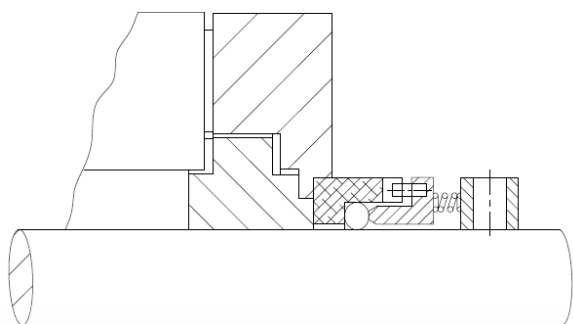
2.2.1 แมคคานิคอลซีลแบบเดี่ยว (Single Seal) จะใช้ในงานทั่ว ๆ ไป แมคคานิคอลซีลแบบนี้เป็นแมคคานิคอลซีลที่มีชิ้นส่วนน้อยที่สุดมีรูปแบบที่ง่าย การติดตั้งอาจอยู่ภายในหรือภายนอกช่องว่างเสื้อปั๊ม โดยมากแล้วแมคคานิคอลซีลจะติดตั้งอยู่ภายในความดันของของเหลวที่อยู่ในช่องว่างเสื้อปั๊ม ภาพที่ 2.2 จะใช้แรงสปริงเพื่อให้ผิวหน้าแมคคานิคอลซีลสัมผัสกันในขณะที่ปั๊มไม่มีความดันและในขณะที่ปั๊มเดินเครื่องมีความดันแรงที่ไล่กดหน้าสัมผัสแมคคานิคอลซีลจะเป็นแรงของของเหลว การติดตั้งแบบภายนอกใช้งานที่มีความดันต่ำดังภาพที่ 2.3

2.2.2 แมคคานิคอลซีลแบบซ้อน (Multiple Seal) ใช้กับงานที่ต้องการของเหลวภายนอกมาหล่อลื่น ด้านทานการกัดกร่อน แมคคานิคอลซีลแบบคู่ (Double Seal) ประกอบด้วยแมคคานิคอลซีลแบบเดี่ยวหันหลังชนกัน แหวนปฐมภูมิ จะอยู่ตรงข้ามกันของเหลวที่อยู่ภายนอกมาหล่อเลี้ยง แมคคานิคอลซีลมีความดันสูงกว่าของเหลวในช่องเสื้อปั๊ม แมคคานิคอลซีล แบบคู่อาจจะวางแบบหันหน้าเข้าหน้ากัน (Face - to - Face) ดังภาพที่ 2.4 หรือในการจัดวางแบบหันหน้าสัมผัสออกจากกัน (Back-to-Back) ดังภาพที่ 2.5 แมคคานิคอลซีลแบบเรียงขนาน (Tandam Seal) ดังภาพที่ 2.6 เป็นแมคคานิคอลซีล ที่วางในทิศทางเดียวกัน โดยการนำแมคคานิคอลซีลตั้งแต่ 2 ชุดมาวางต่อกันไปแบบอนุกรม แมคคานิคอลซีลแบบซ้อนที่ใช้งานได้ปลอดภัยที่สุด เหมาะกับงานที่ของเหลวเป็นพิษและติดไฟง่าย

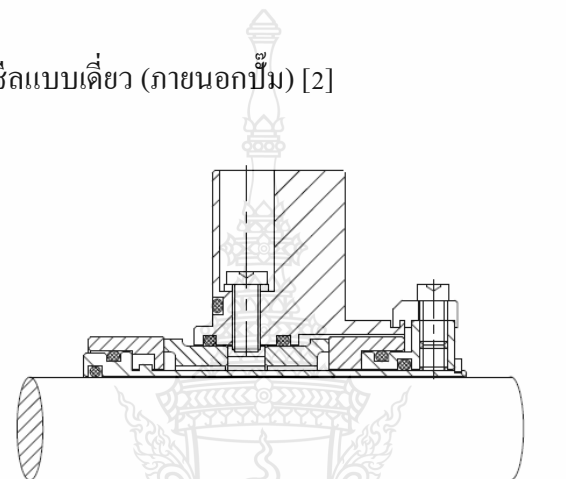
2.2.3 แมคคานิคอลซีลแบบสำเร็จรูป (Cartridge Seal) คือชุดซีลที่มีการตั้งค่าระยะใช้งานมาเรียบร้อยแล้ว จากผู้ผลิต และชุดแมคคานิคอลซีล จะมีปลอกเพลลา และหน้าแปลน รวมมาด้วย จะมีลักษณะแมคคานิคอลซีล แบบเดี่ยวหรือแบบซ้อนที่ทำเป็นชุด ทำให้การติดตั้งง่ายดังภาพที่ 2.7



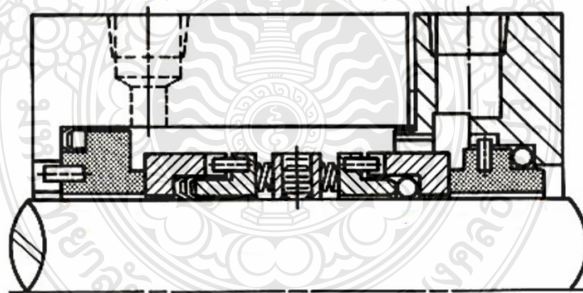
ภาพที่ 2.2 แมคคานิคอลซีลแบบเดี่ยว (ภายในปั๊ม) [2]



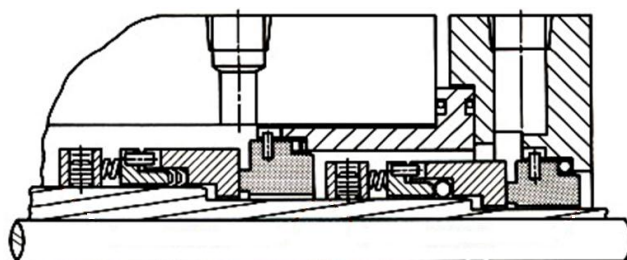
ภาพที่ 2.3 แมคคานิคอลซีลแบบเดี่ยว (ภายนอกปม) [2]



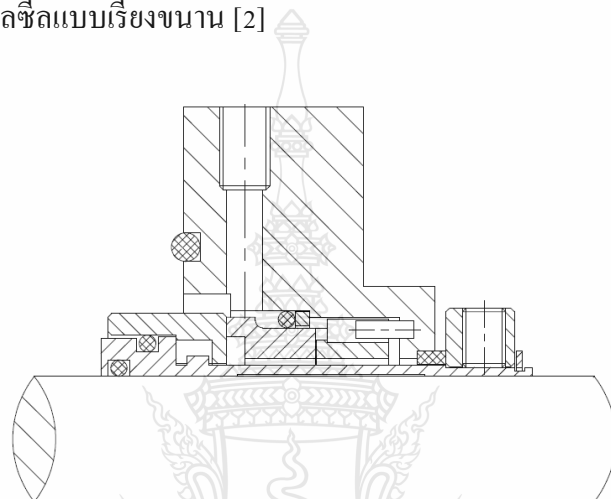
ภาพที่ 2.4 แมคคานิคอลซีลแบบหันหน้าเข้าหน้ากัน [2]



ภาพที่ 2.5 แมคคานิคอลซีลแบบหันหน้าสัมผัสออกจากกัน [2]



ภาพที่ 2.6 แมคคานิคอลซีลแบบเรียงขนาน [2]



ภาพที่ 2.7 แมคคานิคอลซีลแบบสำเร็จรูป [2]

2.3 ประเภทแมคคานิคอลซีล (Mechanical Seal) แบ่งตามการออกแบบสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.3.1. แบบไม่สมดุลและแบบสมดุล (Balance & Unbalance Seal)

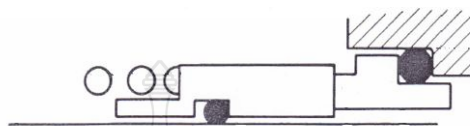
2.3.1.1 แบบไม่สมดุล (Unbalance) : ซีลที่มีแรงดันปิดมากกว่าแรงดันที่จำเป็นที่ใช้ในการซีลสามารถใช้งานได้ดีกับงานที่มีความดันต่ำกว่า 7 บาร์ (100 PSI) ดังภาพที่ 2.8

2.3.1.2 แบบสมดุล (Balance) : ซีลที่มีออกแบบมาเพื่อลดแรงดันปิดให้น้อยลงสามารถใช้งานได้ดีกับงานที่มีความดันสูงกว่า 7 บาร์ (100 PSI) ดังภาพที่ 2.9

2.3.2. แบบใช้สปริงเดี่ยวและแบบใช้สปริงชุด (Single Spring & Multiple Spring Seal)

2.3.2.1 แบบใช้สปริงเดี่ยว (Single Spring Seal) : เป็นชุดแมคคานิคอลซีลที่ออกแบบเป็นแบบเปิดทำให้ไม่มีสิ่งต่าง ๆ ไปขัดตัวสปริงและชุดสปริงทำด้วยสปริงที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ทนต่อการกัดกร่อนได้ดังภาพที่ 2.10

2.3.2.2 แบบใช้สปริงชุด (Multiple Spring Seal) : ใช้ในพื้นที่ในช่องว่างของเสื้อปั๊ม (Stuffing Box) น้อย แรงที่กระทำที่หน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีลจะเกิดจากสปริงหลาย ๆ ตัว รวมกันรอบ ๆ จุดหมุนดังภาพที่ 2.11



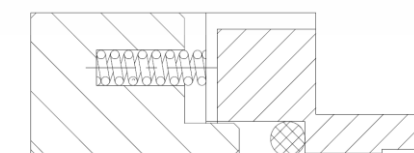
ภาพที่ 2.8 แมคคานิคอลซีลแบบไม่สมดุล [2]



ภาพที่ 2.9 แมคคานิคอลซีลแบบสมดุล [2]



ภาพที่ 2.10 แบบใช้สปริงเดี่ยว [2]



ภาพที่ 2.11 แบบใช้สปริงชุด [2]

2.4 อัตราสมดุล (Balance Ratio)

อัตราสมดุลเป็นสิ่งสำคัญและถูกนำมาเป็นปัจจัยการออกแบบแมคคานิคอลซีล ทั้งนี้เพื่อให้แมคคานิคอลซีลมีความแข็งแรง ทนทานต่อสภาวะการทำงานภายใต้แรงดันสูง อัตราสมดุลสามารถให้คำจำกัดความได้ว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อย ซึ่งเกิดจากแรงดันของเหลวที่กระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีลกับแรงดันของเหลวภายในห้องซีล ในภาพที่ 2.12 แสดงถึงสัดส่วนของแรงต่างๆ ที่กระทำต่อแมคคานิคอลซีล ทั้งชนิดที่ติดตั้งภายในและภายนอกโครงปั๊มแรงดัน สามารถคำนวณได้จากผลคูณของแรงดันภายในห้องซีลกับพื้นที่รับแรงดันกล่าวหาด้วยพื้นที่วงแหวนของหน้าสัมผัส อัตราสมดุลสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$B = \frac{\text{hydraulic load area}}{\text{sealing int erface area}}$$

$$B = \frac{\frac{1}{4} \pi (D_o^2 - D_b^2)}{\frac{1}{4} \pi (D_o^2 - D_i^2)}$$

$$B = \frac{(D_o^2 - D_b^2)}{(D_o^2 - D_i^2)} \quad (2.1)$$

โดยที่ B = อัตราสมดุล

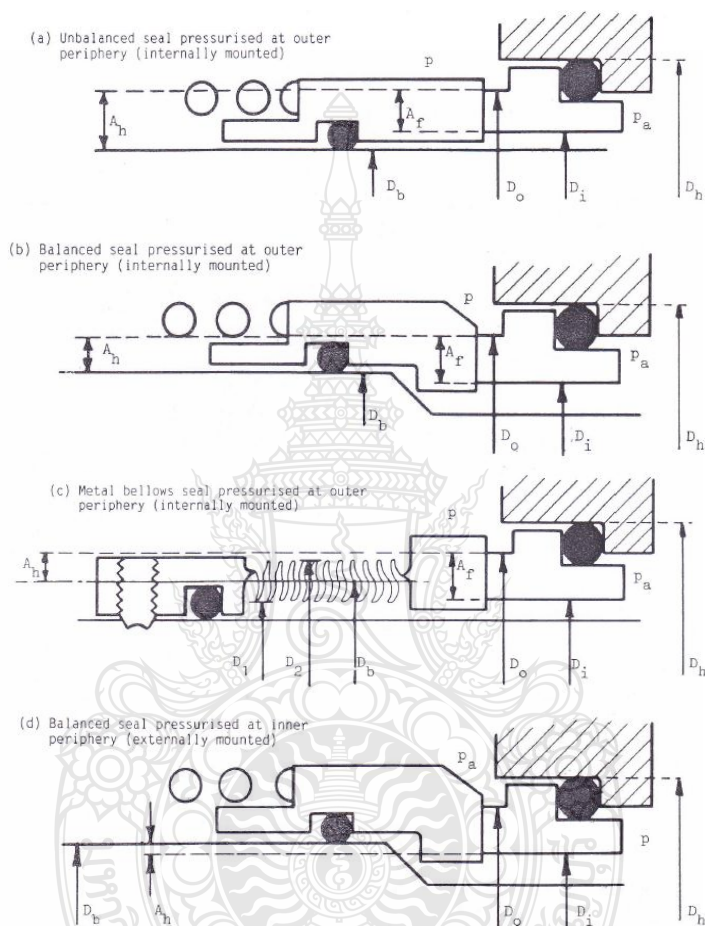
D_o = เส้นผ่าศูนย์กลางวงนอกของหน้าสัมผัสที่รับแรงกด

D_i = เส้นผ่าศูนย์กลางวงในของหน้าสัมผัสที่รับแรงกด

D_b = เส้นผ่าศูนย์กลางสมดุล

ดังนั้นอัตราส่วนสมดุลคือสัดส่วนของแรงไฮดรอลิกต่อพื้นที่ของหน้าสัมผัสในกรณีที่อัตราสมดุลมีค่ามากกว่า 1.0 [3] จะเรียกแมคคานิคอลซีลชนิดนี้ว่าแมคคานิคอลซีลชนิดไม่สมดุล นั่นคือแรงเฉื่อยที่กระทำตั้งฉากกับหน้าสัมผัสมีค่ามากกว่าแรงดันในห้องซีลในทางตรงข้ามแมคคานิคอลซีลชนิดสมดุลจะมีอัตราสมดุลน้อยกว่า 1.0 ซึ่งหมายความว่าแรงเฉื่อยที่กระทำตั้งฉากกับหน้าสัมผัสมีค่า

น้อยกว่าแรงดันในห้องซีล โดยแมคคานิคอลซีลชนิดสมดุลจะถูกนำไปใช้ในกรณีที่ปั๊มมีแรงดันสูง (มากกว่า 100 PSI หรือ 7 บาร์) ส่วนแมคคานิคอลซีล ชนิดไม่สมดุลจะใช้ในปั๊มที่ทำงานภายใต้แรงดันต่ำกว่า (น้อยกว่า 100 PSI หรือ 7 บาร์)



ภาพที่ 2.12 อัตราสมดุลของแรงที่กระทำบนแมคคานิคอลซีล [4]

ตัวแปรแรงดันความเร็ว (Pressure Velocity Parameter)

ตัวแปร P เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในการพิจารณาเพื่อออกแบบและวัสดุที่นำมาทำแหวนปฐุมภูมิและฐานซีลอันเป็นส่วนหลักของสร้างหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีลเช่นเดียวกับการ

พิจารณาออกแบบลูกปืนจำเป็นต้องพิจารณาสัดส่วนของความดันและความเร็วในการเคลื่อนที่สัมพันธ์กันของพื้นที่ผิว 2 ส่วน สำหรับตัวแปร PV สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$PV = PU \quad (2.2)$$

โดยที่ P = แรงดันในห้องซีล (Sealed Pressure)

U = ความเร็วของการเคลื่อนที่เฉลี่ยเฉลี่ย (average sliding speed)

โดยทั่วไปในการพิจารณาค่าตัวแปร PV จะมีปัจจัยของชนิดวัสดุเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติทางกลของวัสดุแต่ละชนิดย่อมแตกต่างกัน ดังนั้นในการพิจารณาเลือกวัสดุที่จะนำมาเป็นคู่หน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล จะมีค่าที่เรียกว่า ค่าจำกัด PV ซึ่งจะเป็นค่าคงที่ ที่จะจำกัดความสามารถในการรับภาระของคู่วัสดุที่ใช้ทำเป็นหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล ในด้านความสามารถในการรับภาระแรงดันพร้อมๆ กันกับความเร็วยรอบสูงสุดในสภาวะภายใต้ความดันนั้นๆ

ตารางที่ 2.1 วัสดุที่ใช้ทำหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล และขีดจำกัดของค่า PV [5]

วัสดุ	ขีดจำกัดของค่า PV		ข้อสรุป
	ชดเชยกับที่	$\text{lb/in}^2 \cdot \text{ft/min}$ (bar.m/sec)	
คาร์บอน-กราไฟต์	Ni-resist	100,000 (35.03)	ต้านทานการฉีกเนื่องจากความร้อนได้ดีกว่าเซรามิก
	เซรามิก 85% (Al_2O_3)	100,000 (35.03)	ต้านทานการฉีกเนื่องจากความร้อนได้ดี และต้านทานการกัดกร่อนได้ดีกว่า Ni-resist
	เซรามิก 99% (Al_2O_3)	100,000 (35.03)	ต้านทานการกัดกร่อนได้ดีกว่าเซรามิก (85% Al_2O_3)
	ทั้งสแตนคาร์ไบน์ (6% Co)	500,000 (175.15)	คาร์บอนกราไฟต์มีบรอนซ์ผสมอยู่ ค่าของ PV เพิ่มขึ้นอีก 100,000 $\text{lb/in}^2 \cdot \text{ft/min}$ (35.03 bar.m/sec)

ตารางที่ 2.1 วัสดุที่ใช้ทำหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล และขีดจำกัดของค่า PV (ต่อ)

วัสดุ		ขีดจำกัดของค่า PV lb/in ² .ft/min (bar.m/sec)	ข้อสรุป
ชุดหมุน	ชุดอยู่กับที่		
คาร์บอน-กราไฟต์	ซิลิคอนคาร์ไบด์ (ของแข็ง)	500,000 (175.15)	ต้านทานการขัดสีได้ดีเลิศ, ต้านทานการกัดกร่อนได้ดี. ต้านทานการช็อกเนื่องจากความร้อนได้ปานกลาง
	ทังสเตนคาร์ไบด์ (6% Ni)	500,000 (175.15)	มีนิเกิลเป็นตัวประสาน เพื่อต้านทานการกัดกร่อน ได้ดีขึ้น
	ซิลิคอนคาร์ไบด์ (ของแข็ง)	500,000 (175.15)	ต้านทานการกัดกร่อนได้ดี ดีกว่าทังสเตนคาร์ไบด์ แต่ ต้านทานการช็อกเนื่องจาก ความร้อนได้ต่ำกว่า
	คาร์บอน-กราไฟต์	50,000 (17.51)	มีค่า PV ต่ำ แต่ต้านทาน การเกิดหลุมที่ผิวหน้าได้ดี
	เซรามิก	10,000 (3.50)	ใช้งานได้ดีในการซีลพวก เม็ดสี

ตารางที่ 2.1 แสดงถึงวัสดุที่ใช้ทำหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล และขีดจำกัดของค่า PV สำหรับการออกแบบแมคคานิคอลซีล ตัวแปร PV จะถูกใช้เปรียบเทียบค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณและทดลองในห้องทดลอง ซึ่งค่าคงที่นี้เรียกว่า ค่าจำกัด PV ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของวัสดุที่ใช้ทำหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล สภาวะการทำงานของแมคคานิคอลซีลอันประกอบด้วย แรงดันภายในห้องซีล ความเร็วรอบและรวมถึงชนิดของเหลวที่อยู่ในปั๊มต่างๆด้วย

2.5 คุณสมบัติของหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล

ในการเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ทำเป็นแหวนปฐมภูมิและฐานซีลอันเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญสองชิ้นที่จะทำให้เกิดหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล จะต้องอาศัยพื้นฐานและกฎเกณฑ์ของความ

แข็งแรงวัสดุความเสียดทานของผิววัสดุ ความทนทานต่อการกัดกร่อนต่อสารเคมีที่จะต้องสัมผัสใน
 ปืนจากการที่วัสดุดังกล่าวจะต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมและทนทานต่อสภาวะและเงื่อนไขต่างๆ
 ข้างต้นทำให้มีวัสดุเพียงไม่กี่ชนิดที่เหมาะสมตามเงื่อนไขและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ดังนั้นใน
 หัวข้อนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติต่างๆ ในรายละเอียด [6]

2.5.1 การทนแรงดึง (Tensile Strength) คุณสมบัติการทนต่อแรงดึงมีความสำคัญทั้งนี้
 เนื่องจากหน้าสัมผัสทั้งสองของแมคคานิคอลซีลจะถูกกระทำภายใต้แรงที่เกิดจากแรงดันของเหลว
 แรงเสียดทานและแรงบิดจากการหมุนของเพลลาของปืนนอกจากนี้ยังมีผลของการเปลี่ยนแปลง
 อุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (Thermal Shock) ดังนั้นหากเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการทนแรงดึงต่ำมา
 ใช้ทำหน้าสัมผัสแมคคานิคอลซีลจะทำให้หน้าสัมผัสแตกหักเสียหายได้ง่ายเนื่องจากมีความเปราะสูง

2.5.2 การทนแรงกด (Compressive Strength) โดยมากมักจะเกิดแรงกดสูงกว่าแรงดึงใน
 ขณะที่ แมคคานิคอลซีลทำงานดังนั้นนอกเหนือจากแรงดึงจำเป็นต้องพิจารณาความสามารถในการ
 รับแรงกดได้ดีเช่นกัน

2.5.3 ความแข็งของผิวหน้าวัสดุ (Surface Hardness) ค่าความแข็งของผิวหน้าเป็นปัจจัยที่
 สำคัญที่สุดของคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาทำหน้าสัมผัสแมคคานิคอลซีลทั้งนี้เนื่องจากหน้าสัมผัส
 จะต้องเคลื่อนที่เสียดสีกันตลอดเวลาภายใต้สภาวะความเครียดหลายประการซึ่งจะทำให้อัตรา
 การสึกหรอเกิดขึ้นสูงมาก ดังนั้นที่จะนำมาทำหน้าสัมผัสแมคคานิคอลซีลจึงจำเป็นต้องมี
 ความแข็งมากพอเพื่อให้มีอายุการทำงานยาวนานตามสมควร

2.5.4 สัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อน (Coefficient fo Thermal Expansion) ตัวแปร
 นี้เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการบิดเบี้ยว (Distortion) ของรูปทรงปกติของหน้าสัมผัสอันเกิดจากการ
 ขยายตัวของวัสดุเนื่องจากการเพิ่มของความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีของหน้าสัมผัส

2.5.5 การนำความร้อน (Thermal Conductivity) วัสดุที่มีความสามารถในการนำความร้อน
 ที่ดีจะสามารถส่งผ่านความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีกันของหน้าสัมผัสไปสู่ของเหลวที่ล้อมรอบ
 หน้าสัมผัสภายในห้องซีลได้อย่างรวดเร็วทำให้ความร้อนสะสมที่หน้าสัมผัสลดลง

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทำผิวหน้าแมคคาณิคอลซิด

คุณสมบัติ	เหล็กหล่อ	Ni-resist	เซรามิก		คาร์ไบน์		คาร์บอน			
			85% (AL ₂ O ₃)	99% (AL ₂ O ₃)	ทั้งสแตน (6% Co)	ซิลิกอน	เรซิน	แอนติโมนี	บรอนซ์	
โมดูลัสของความยืดหยุ่น (x10 ³ Mpa)	(90-110)	(72-117)	(221)	(245)	(621)	(331-393)	(17.2-27.6)	(26.2-33.1)	(20-30)	
ความแข็งแรงต้านดึง (x10 ³ Mpa)	(448-827)	(139-310)	(138)	(269)	(850)	(142)	(31-62)	(52-62)	(52-62)	
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (x10 ⁻⁶ cm/cm K)	(11.88)	(11.7-12.24)	(7.02)	(7.74)	(4.55)	(3.38)	(4.14-6.12)	(4.14-8.46)	(4.32-5.58)	
สภาพการนำความร้อน(w/m xk)	(39.79-50.17)	(43.25-48.44)	(14.7)	(25.08)	(70.93-83.04)	(70.93-103.8)	(6.57-20.76)	(10.0-15.6)	(13.84-14.7)	
ความหนาแน่น lb/m ³ (kg/m ³)	(7169-7418)	(7307-7418)	(3405)	(3405)	(16.331)	(2879)	(1771-1910)	(2297-3100)	(2297-26856)	
ความแข็ง	Brinell	131-183	87	87	92	Rockwell A	Rockwell 45 N	Shore	75-100	70-92

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้เป็นเสื้อของแมคคาณิคอลซิด [7] [8]

เกรด	ความหนาแน่น (kg/m ³)	โมดูลัสของควมยืดหยุ่น (GPa)	สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (µm/m/°C)		สภาพการนำความร้อน (W/m.K)		ความแข็งแรงต้านดึง (MPa)	ความแข็ง Rockwell B
			0-100°C	0-315°C	0-538°C	at 100°C		
304	8000	193	17.2	17.8	18.4	16.2	215	92
316	8000	193	15.9	16.2	17.5	16.2	215	92

2.6 อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด หรือสเตรนเกจ (Strain Gauge)

สเตรนเกจ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดจากความเครียดภายในวัสดุอันหนึ่งมาจากความเค้น (Stress) ที่มากระทำ

2.6.1 ทฤษฎีการใช้งานสเตรนเกจถ้าวัสดุตัวนำที่มีความยาวเท่ากับ L และมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ A ได้รับความเค้นในแนวแกนซึ่งทำให้ความยาวเพิ่มขึ้น ขนาดของลวดตัวนำจะลดลงเป็นฟังก์ชันของปัวซองเรโซ (Poisson's Ratio) ในขณะที่ความต้านทานภายในเส้นลวด (R) จะขึ้นอยู่กับความยาว (L) พื้นที่หน้าตัด (A) และค่าความต้านทานจำเพาะ (Specification Resistance, ρ) เมื่อสเตรนเกจถูกยืดออกความยาวของมันจะเพิ่มขึ้นในขณะที่พื้นที่หน้าตัดจะลดลงผลก็คือความต้านทานของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้านทานภายในของโลหะตัวนำนั้นแปรผันตรงกับความยาวและแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัด ดังความสัมพันธ์ในสมการต่อไปนี้

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (2.3)$$

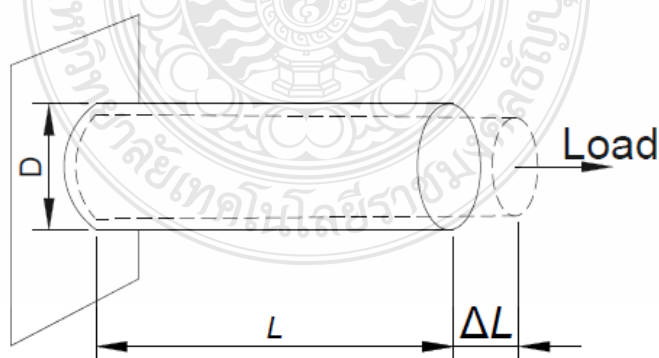
เมื่อ R คือค่าความต้านทานของเส้นลวด (Ω)

ρ คือค่าความต้านทานของเส้นลวด ($\Omega \cdot m$)

L คือค่าความต้านทานของเส้นลวด (m)

A คือค่าความต้านทานของเส้นลวด (m^2)

การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน (R) ของตัวนำที่มีลักษณะเป็นเส้นลวด แสดงในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 การเกิดค่าความต้านทานอันเนื่องมาจากความเครียด [9]

เกจแฟกเตอร์ (Gauge Factor, G) ของสเตรนเกจหมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางกายภาพของตัวแปรสองตัวคือความต้านทานและความยาวของเกจที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีความเครียดเกิดขึ้นกับตัววัสดุ

$$G = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} \quad (2.4)$$

เมื่อ ΔR คือค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีความเค้นมากระทำ
 ΔL คือค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีความเค้นมากระทำ

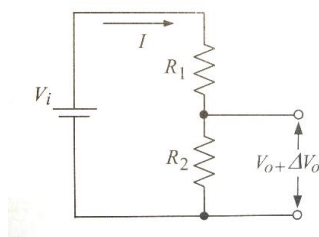
การหาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของเกจจะใช้ร่วมกับวงจรไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วงจรแบ่งแรงดัน หรือวงจรวิดสโตน บริจจ์ (Wheatstone Bridge) แบบควอเตอร์บริจจ์ (Quarter Bridge) โดยวงจรชนิดนี้จะมีแขนข้างหนึ่งที่เป็นสเตรนเกจคือ R_1 ส่วนแขนที่เหลืออีกสามแขนจะเป็นตัวต้านทานแบบค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากันทุกตัว และมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ R_1 ดังนั้น $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ ในขณะที่ $\Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4 = 0$

2.6.2 วงจรสเตรนเกจ (Strain Gauge Circuit)

การหาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของเกจจะใช้ร่วมกับวงจรไฟฟ้า เช่น วงจรแบ่งแรงดัน หรือวงจรวิดสโตนบริจจ์

ก. วงจรแบ่งแรงดัน หรือวงจรโพเทนชันมิเตอร์ (Potentionmeter) ซึ่งมักจะรู้จักกันในชื่อ วงจรบาลลาสต์ (Ballast) โดยประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_i) หรือบางครั้งอาจใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน โดยมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอยู่ระหว่างตัวความต้านทาน R_1 และ R_2 ที่มีตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งสองตัวเป็นสเตรนเกจ ส่วนแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (V_0) ที่เกิดขึ้นจะตกคร่อมตัวต้านทาน ซึ่งกำหนดให้มีความอินพุตอิมพีแดนซ์สูง (High Input Impedance) ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต สามารถหาได้จากสมการที่ 2.6

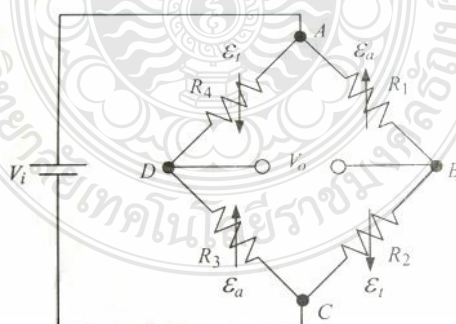
$$V_0 = V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.5)$$



ภาพที่ 2.14 วงจรแบ่งแรงดัน หรือวงจรโพเทนชันมิเตอร์ [9]

ข. วงจรวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) การต่อวงจรลักษณะนี้สำหรับตรวจวัดความเครียดโดยปกติแล้วจะใช้วงจรวีทสโตนบริดจ์ แบบสี่แขน ดังภาพที่ 2.15 ซึ่งระหว่างจุด B และ D จะมีความต่างศักย์เท่ากับ

$$\begin{aligned}
 V_0 &= V_{AB} - V_{AD} \\
 &= V_i \left[\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right] \\
 &= V_i \left[\frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \right]
 \end{aligned} \tag{2.6}$$



ε_t = Active Gauge

ε_a = Dummy Gauge

ภาพที่ 2.15 วงจรวีทสโตนบริดจ์แบบสี่แขน [9]

2.7 ความเค้น (Stress)

หมายถึง แรงที่กระทำต่อวัตถุ A คือเนื้อแรงกระทำซึ่งอาจจะเป็นเนื้อที่ตั้งฉากกับแรงหรือขนานกับแรง แล้วแต่ชนิดของความเค้น หน่วยความเค้นเป็นนิวตัน/ตารางเมตร

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2.7)$$

โดยที่ σ คือ ความเค้น (N/m^2)

P คือ แรงที่มากกระทำ (N)

A_0 คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

2.8 ความเค้นและความเครียดเนื่องจากความร้อน

หมายถึงการยืดตัวหรือการหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิของวัสดุหนึ่งๆ ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นถ้ามีความต้านทานขณะยืดหรือหดตัวแล้วจะเกิดความเค้นเนื่องจากความร้อนขึ้น ถ้าการเปลี่ยนแปลงขนาดในแนวใดแนวความต้านทานจะเกิดความเค้นในเนื้อวัสดุต้านทานเสมอความเค้นที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความเค้นเนื่องจากความร้อน σ_T ซึ่งคำนวณได้จาก [10]

$$\sigma_T = \alpha E \Delta T \quad (2.8)$$

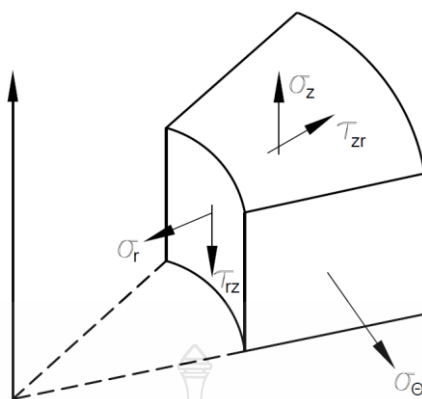
โดยที่ α คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของวัสดุ (cm/cm K)

E คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่น (GPa)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

2.9 สมการเชิงอนุพันธ์ในระบบพิกัดทรงกระบอก

ในระบบพิกัดทรงกระบอก เอลิเมนต์เล็กๆ ภายใต้อุณหภูมิความสมดุลเมื่อมีความเค้นต่างๆ มากกระทำ ได้แสดงในภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 เอลิเมนต์วงแหวนภายใต้สภาวะความเค้น [11]

โดย $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$ แทนความเค้นในแนวแกน r, θ, z (Normal Stress) ตามลำดับ และ $\tau_{r\theta}, \tau_{rz}, \tau_{\theta z}$ แทนความเค้นเฉือน (Shear Stress) สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยในระบบพิกัดทรงกระบอก ดังนี้ [12]

$$\frac{\partial(r\sigma_r)}{\partial r} + \frac{\partial\tau_{r\theta}}{\partial\theta} + r \frac{\partial\tau_{rz}}{\partial z} - \sigma_\theta = 0$$

$$\frac{\partial(r\tau_{r\theta})}{\partial r} + \frac{\partial\sigma_\theta}{\partial\theta} + r \frac{\partial\tau_{\theta z}}{\partial z} - \tau_\theta = 0 \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial(r\tau_{rz})}{\partial r} + \frac{\partial\tau_{\theta z}}{\partial\theta} + r \frac{\partial\sigma_z}{\partial z} = 0$$

สำหรับการถ่ายเทความร้อนในของแข็งความเครียดที่มีผลมาจากอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆกันอาจมีค่าไม่เท่ากัน

$$\{\varepsilon_0\}^T = [\alpha\Delta T \quad \alpha\Delta T \quad \alpha\Delta T \quad 0 \quad 0 \quad 0] \quad (2.10)$$

โดย α แทนสัมประสิทธิ์การขยายตัว และ ΔT แทนอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจาก T_0 ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่วัสดุนั้นไม่มีความเค้นซึ่งเป็นอุณหภูมิที่วัสดุนั้นไม่มีความเค้น โดย

$$\Delta T = T(r, \theta, z) - T_0 \quad (2.11)$$

เนื่องจากความเครียดขั้นต้นเป็นความเค้นที่เกิดขึ้นก่อนทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress – Strain Relations) โดยทั่วไปสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ ดังนี้

$$\{\sigma\} = [C]\{\varepsilon - \varepsilon_0\} \quad (2.12)$$

โดย

$$\{\sigma\}^T = [\sigma_r \quad \sigma_\theta \quad \sigma_z \quad \tau_{r\theta} \quad \tau_{rz} \quad \tau_{\theta z}] \quad (2.13)$$

$$\{\varepsilon\}^T = [\varepsilon_r \quad \varepsilon_\theta \quad \varepsilon_z \quad \gamma_{r\theta} \quad \gamma_{rz} \quad \gamma_{\theta z}] \quad (2.14)$$

โดย $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ แทนความเครียดในแนวแกน r, θ, z ตามลำดับ (Normal Strain) ส่วน $\tau_{r\theta}, \tau_{rz}, \tau_{\theta z}$ แทนความเครียดเฉือน และ

$$[C] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

โดย ν คืออัตราส่วนปัวส์ซอง, E คือค่าคงที่ของการยืดหยุ่น ส่วนความสัมพันธ์ความเครียดกับการเคลื่อนตัว สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_r \\ \varepsilon_\theta \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{r\theta} \\ \gamma_{rz} \\ \gamma_{\theta z} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{u}{r} + r \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} \\ \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \\ \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \end{Bmatrix} \quad (2.16)$$

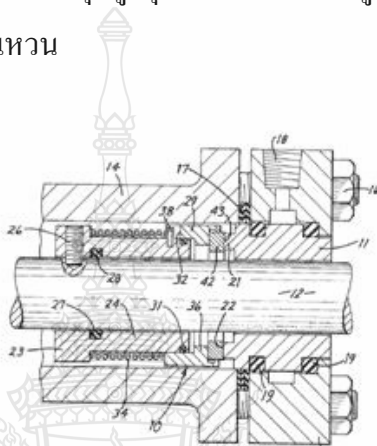
2.10 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 1960 Mayer ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบผลกระทบของการเลือกใช้คู่ของวัสดุที่ใช้ทำระนาบหน้าสัมผัส (Faces Mating Material) ต่อประสิทธิภาพของการป้องกันการรั่วไหลของของเหลวในปั๊ม (Leakage Rate) ภายใต้สภาวะการทำงานและช่วงเวลากการทดลองใช้งานเดียวกัน โดยได้เลือกซิลิกอนชนิดเดียวกัน ขนาดเดียวกันแต่คู่ของวัสดุแตกต่างกันไปตามที่สามารถจัดหาได้ทั่วไปในท้องตลาดในเวลานั้น สำหรับวัสดุต่างๆ ที่นำมาทดลองแสดงในตารางต่อไปนี้

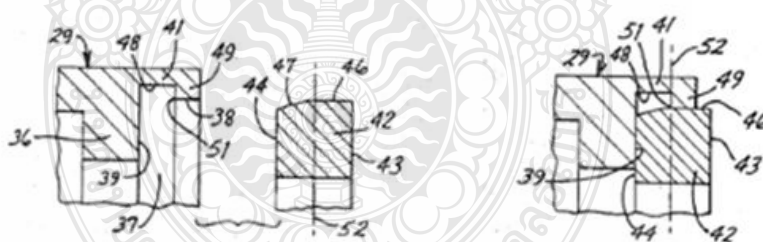
ตารางที่ 2.4 อัตราการรั่วไหลของของเหลว

วัสดุที่ใช้ทำแหวนซิลิโคนและทำฐาน ซิลตามลำดับ	3 เดือน (ลิตร/ชั่วโมง)	6 เดือน (ลิตร/ชั่วโมง)	9 เดือน (ลิตร/ชั่วโมง)	12 เดือน (ลิตร/ชั่วโมง)
1.คาร์บอนกราไฟต์กับเหล็กไร้สนิม (SUS316)	0.003	0.003	0.005	0.15
2.คาร์บอนกราไฟต์กับเซรามิค	0.003	0.003	0.005	0.08
3.คาร์บอนกราไฟต์กับทังสเตนคาร์ไบด์	0.003	0.003	0.005	0.05
4.คาร์บอนกราไฟต์กับซิลิคอนคาร์ไบด์	0.003	0.003	0.005	0.003

ในปี 1973 Adams, William [13] การประดิษฐ์เกี่ยวข้องกับซีลแหวนสำหรับการซีลเพลลาที่มีการหมุน, ซีล ประกอบด้วยส่วนของเสื่อและแหวนซีล ซึ่งจะจัดวางซีลเข้าด้วยกัน เสื่อบีบรัดแหวนซีลและหมุนไปด้วยกัน แหวนซีลจะถูกยึดอยู่ในเสื่อด้วยค้ำรัดแหวน ในการประกอบ หน้าสัมผัสที่ประกอบเข้ากับเสื่อนั้น จะให้แรงกดในแนวรัศมีมีการหดตัวที่จุด เซนทรอย ของพื้นที่หน้าตัดของแหวนซีล เพื่อให้มั่นใจว่าแรงของการหดตัวอยู่ในจุดเซนทรอยของพื้นที่หน้าตัดของแหวนซีล อย่างน้อยหน้าสัมผัสที่สัมผัสกันในการหดตัวพอดี จุดสูงสุดของพื้นผิวโค้งอยู่ในระนาบแนวรัศมีที่ขยายไปถึงจุดเซนทรอย ของพื้นที่หน้าตัดของแหวน



ภาพที่ 2.17 แมคคานิคอลซีล [13]



ภาพที่ 2.18 แหวนแบบสไลด์ [13]

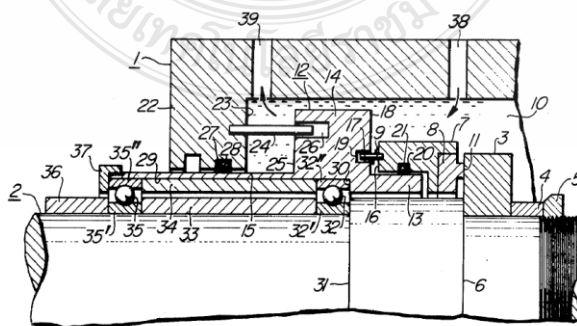
ในปี 1978 Bergius ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการรั่วไหลของของเหลวเมื่อทำการซีลที่บริเวณเพลลาของปั๊มที่มีการหมุน ระหว่างประเก็นเชือก (Packing) และแมคคานิคอลซีล โดยศึกษาจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษประเทศสวีเดน ซึ่งผลการศึกษาวิจัยได้แสดงถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการรั่วไหลของของเหลวจากปั๊ม การสูญเสียพลังงานซึ่งผลการศึกษาวิจัยได้แสดงถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการรั่วไหลของของเหลวจากปั๊ม การสูญเสียพลังงานความร้อนในกระบวนการและค่าใช้จ่ายใน

การลดเซความร้อนที่สูญเสียไป ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องจักร นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงผลกระทบของการรั่วไหลของสารเคมีจากปั๊มในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและกฎหมาย สิ่งแวดล้อมอันจะส่งผลย้อนกลับมายังต้นทุนการผลิตของโรงงานผู้ผลิตในภายหลัง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

สำหรับผลการรั่วซึมของของเหลวจากเพลลาที่มีการหมุนมีดังนี้

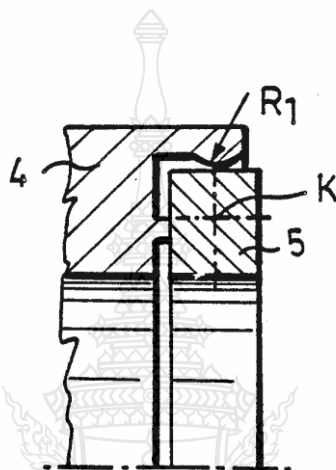
1. ครอบคลุมสภาวะการทำงาน
2. ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นตัวหลักคั้นให้มีการป้องกันการรั่วไหล
3. การรั่วซึมก่อให้เกิดการกัดกร่อนเสียหายต่อปั๊มและเครื่องจักร
4. การสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมมีผลต่อผู้ประกอบการในด้านของค่าใช้จ่ายในการผลิตที่สูงขึ้น
5. ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมสู่เข้าหรือออกจากตัวปั๊มทำให้เสียค่าใช้จ่ายของพลังงานเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มความร้อนชดเชยส่วนที่สูญเสียไป

ในปี 1979 Masaya (Ibaraki, JP), Watanabe (Hitachi, JP) [14] แมคคานิคอลซีล ที่ประกอบด้วยการหมุนของซีล ซีลที่อยู่กับที่ (Stationary Seal) และแหวนรอง แหวนรองเป็นการป้องกันแหวนที่หมุนไปพร้อมกันกับเพลลา ระหว่าง เคชและเพลลาโดยแหวนไม่สามารถหมุนได้ แต่เคลื่อนที่ได้ในแนวแกน เป็นการป้องกันการหยุดของการหมุนที่อยู่ระหว่างเคชและแหวนรองการติดตั้งจะอยู่ระหว่างแหวนและเพลลาเพื่อให้หมุนไปด้วยกันแต่จะไม่มีการเคลื่อนในแนวแกน ตัวที่ช่วยกันการหมุนนั้นคือพินและรู ที่สำคัญจะใช้กับและจะอยู่ระหว่างแหวนและเพลลาเพื่อให้ทั้งสองหมุนไปด้วยกันและถูกป็น



ภาพที่ 2.19 แมคคานิคอลซีล [14]

ในปี 1988 Lummila; Markku (Jyvaskyla, FI), Salovaara; Esa (Jyvaskyla, FI) และคณะ [15] การสร้างแมคคานิคอลซีลที่มีหน้าสัมผัสเป็นวงแหวน วัสดุที่ใช้ควรเป็นทั้งสเตนคาร์ไบด์ที่ใช้ในการประกอบเข้ากับเสื้อ ลักษณะเสื้อ (4) ที่ใช้รัศจะมี การตัดข้างออก (R1) แล้วทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวที่มีประสิทธิภาพระหว่างเสื้อและแหวนที่ใช้ทำหน้าสัมผัส



ภาพที่ 2.20 แหวนแบบสไลด์ [15]



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยจำเป็นต้องมีการศึกษาปัญหาและที่มาของปัญหา การเกิดความเสียหายของแมคคานิคอลซีลในการใช้งานจากการใช้งานของแมคคานิคอลซีล บางครั้งของการใช้งานอาจเกิดอุณหภูมิสูงทำให้เกิดความเสียหายต่อหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีลแบบฟุ้งแหวนเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงขณะทำงาน ความร้อนที่เกิดขึ้นอาจมาจากที่จุดหน้าสัมผัสและส่วนต่างๆของปั๊มหรือมอเตอร์ส่งผ่านมาถึงจุดแมคคานิคอลซีลเป็นเหตุให้แมคคานิคอลซีลเกิดการขยายตัวอันมีผลต่ออายุการใช้งานทำให้หน้าสัมผัสแมคคานิคอลซีลที่ฟุ้งไว้เกิดการหลุด และเกิดการรั่วไหลของแมคคานิคอลซีล

ตารางที่ 3.1 แผนงานการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	ผลงานที่คาดว่าจะเสร็จ	ระยะเวลาปี 2554			
		มค. - กพ.	มีค. - เมย.	พค. - มิย.	กค. - สค.
1.วิเคราะห์และทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งวรรณกรรมเพิ่มเติม	ได้แนวทางทฤษฎีในการวิจัยและเอกสารอ้างอิงเพิ่ม		→		
2.ออกแบบและสร้างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ	ได้สร้างชิ้นงานทดสอบ				
3.ทดสอบและเก็บข้อมูล				→	
4.วิเคราะห์ผลการทดลองและปรับปรุงชิ้นงาน					→
5.สรุปผล	ได้เอกสารสรุปผลงานวิจัยทั้งหมด				

3.2 เงื่อนไขการทำงานของปั๊มชุดทดสอบ

3.2.1 ความเร็วรอบในการทดสอบ 1,450 รอบต่อนาที

3.2.2 ความดันใช้งาน 5 ถึง 20 บาร์

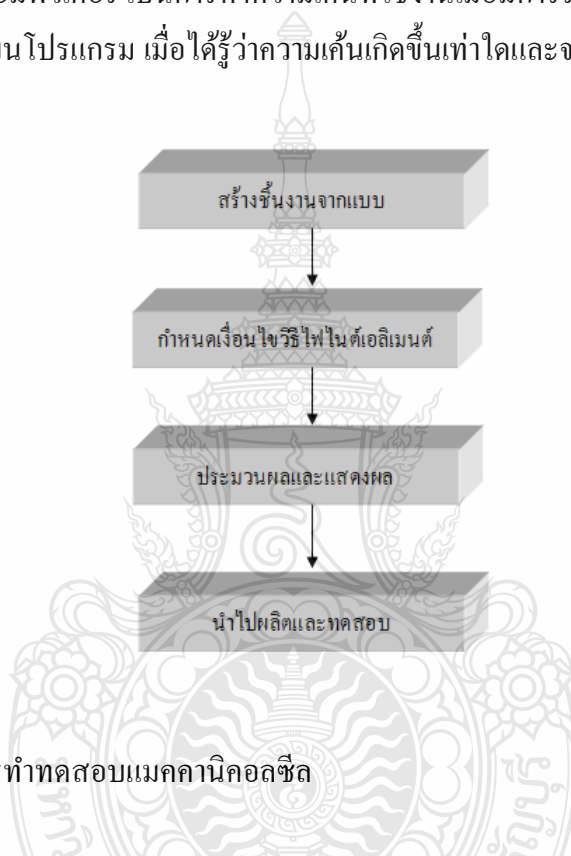
3.2.3 อุณหภูมิใช้ทดสอบ 50 ถึง 150 องศาเซลเซียส

3.2.4 แมคคานิคอลซีลฟุ้งแหวนวัสดุคาร์บอนแอนติโมนีและซิลิคอนคาร์ไบด์

โอริงแอฟลาฟ

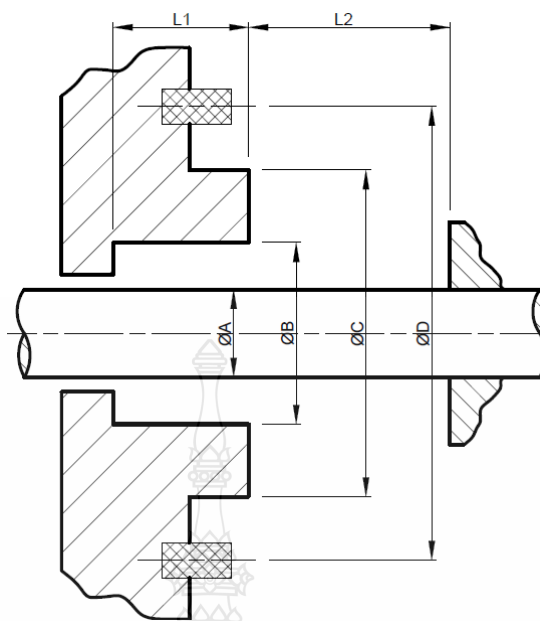
3.3 การออกแบบ

จากการใช้แมคคานิคอลซีลแบบเดิมฝังกแหวนใช้งานได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ถ้ามีความร้อนสะสม จะทำให้สภาวะแวดล้อมที่มีแมคคานิคอลซีลอยู่มีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 100 องศาเซลเซียส ทำให้แหวนที่ฝังกไว้เกิดการหลุดออกมาเป็นเหตุทำให้เกิดการรั่วไหลของแมคคานิคอลซีล ทำการปรับค่ารัศแหวนแมคคานิคอลซีลด้วยการวิเคราะห์ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นที่แมคคานิคอลซีลการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นการหาความเค้นที่ใช้งานเมื่อมีการรับแรงกระทำและความร้อนด้วยวิธีการเขียนแบบบนโปรแกรม เมื่อได้รู้ค่าความเค้นเกิดขึ้นเท่าใดและจะรับความเค้นใช้งาน



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทำทดสอบแมคคานิคอลซีล

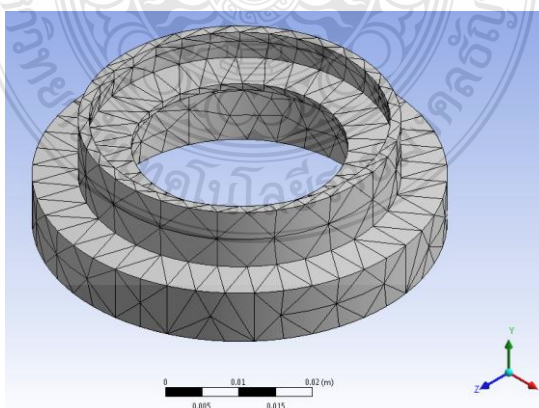
เพิ่มขึ้นได้อีกเท่าใด และในการออกแบบแมคคานิคอลซีลมีดังนี้ ตำแหน่ง A หมายถึงขนาดเพลลาที่แมคคานิคอลซีลจะสวมเข้าไปในปั๊ม ตำแหน่ง B หมายถึงความโตห้องบรรจุซีลที่แมคคานิคอลซีลเข้าไปในปั๊มได้ ตำแหน่ง C หมายถึง พื้นที่ที่จะใช้ในการซีลระหว่างปั๊มกับหน้าแปลนแมคคานิคอลซีล ตำแหน่ง D หมายถึงระยะที่เจาะรูเพื่อใช้ยึดหน้าแปลนแมคคานิคอลซีลเข้ากับปั๊ม ตำแหน่ง L1 หมายถึง ระยะความสูงของฐานซีลที่นำมาประกอบ ตำแหน่ง L2 หมายถึงระยะความยาวแมคคานิคอลซีลที่สามารถประกอบเข้าปั๊มได้



ภาพที่ 3.2 ระยะในการออกแบบแมคคานิคอลซีล

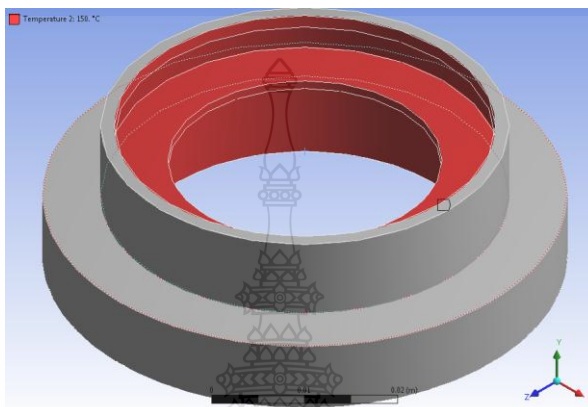
3.4 วิธีวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

ขั้นตอนการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มจากการแบ่งจำนวนเอลิเมนต์ของแบบจำลอง ซึ่งในกรณีนี้ค่าเหมาะสมจากการคำนวณของโปรแกรมเป็นจำนวน 1,652 เอลิเมนต์ ประกอบด้วย โหนดทั้งหมด 3,298 โหนด โดยแต่ละชิ้นส่วนย่อยจะเป็นแบบเอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่ประกอบด้วย 3 จุดต่อ ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแมคคานิคอลซีลแบบฟังกแหวน

กำหนดความละเอียดของเอลิเมนต์ให้มีความละเอียดเท่ากับ 100% เลือกวิธีการวิเคราะห์แบบ Steady – State Thermal และแบบ Static Structural เลือกประเภทของการวิเคราะห์จากการ Simulation เลือกประเภทของวัสดุเป็น Stainless Steel กำหนดอุณหภูมิภายในเสื้อสแตนเลส เท่ากับ 150 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 3.4 และกำหนดให้มีความดันภายใน 20 บาร์



ภาพที่ 3.4 การกำหนดอุณหภูมิ

3.5 การเลือกชนิดแมคคานิคอลซีลที่เหมาะสม

ในการเลือกชนิดวัสดุที่เหมาะสม กับสภาพการทำงานที่และสอดคล้องกับคุณลักษณะที่กล่าวไว้ข้างต้น จะทำให้พิจารณาวัสดุที่เหมาะสม ดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 แมคคานิคอลซีล ที่มีความสามารถในการรับทนต่อสภาวะการใช้งาน ที่ความดันสูง และอุณหภูมิสูง โดยสามารถรักษาขนาดพิวสั้มผัสของแหวน ปฐมภูมิให้ขนานกับระนาบหน้าสัมผัสของฐานซีลสำหรับแมคคานิคอลซีล ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับความต้องการดังกล่าวได้แก่แมคคานิคอลซีลแบบสมคูล เนื่องจาก แมคคานิคอลซีล ชนิดนี้ ทำหน้าที่ลดแรงดันที่หน้าสัมผัสไม่ให้น้ำสัมผัสสูญเสียระนาบเมื่อมีความดันสูง และสำหรับแรงบิดขณะทำงานของปั๊ม จะใช้สปริงแบบสปริงชุด เพื่อให้แรงกดที่หน้าสัมผัสมีการกดที่สม่ำเสมอเนื่องจาก แมคคานิคอลซีล มีรอบการทำงานสูง

3.6 ผลิตภัณฑ์ส่วนของแมคคานิคอลซีล แบบฝั้แหวน

การเลือกใช้วัสดุที่ใช้ทำเสื้อรัดแหวนใช้สแตนเลสเกรด เนื่องจากสแตนเลสเกรดนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของวัสดุ (ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของวัสดุสแตนเลสที่นำมาใช้เป็นเสื้อของแมคคานิคอลซีล) และใช้แหวนที่ทำหน้าสัมผัสเป็น คาร์บอนแอนดิมอนิโดยพิจารณาจาก

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทำผิวหน้าแมคคานิคอลซีลและทำการออกแบบค่ารัศเหวน โดยการคิดค่าความความดันจากการรัศเหวนระหว่างวัสดุทั้งสองชั้นเมื่ออุณหภูมิลดลงที่อุณหภูมิปกติ (50 องศาเซลเซียส) จากนั้นทำการผลิตชิ้นส่วนของแมคคานิคอลซีล



ภาพที่ 3.5 เสือรัศเหวนและแหวนคาร์บอนแอนติโมนีก่อนการฝึงแหวน

3.7 วิธีการประกอบแหวนคาร์บอนแอนติโมนิเข้าเสื่อสแตนเลส

การประกอบแหวนคาร์บอนแอนติโมนิเข้าเสื่อสแตนเลสเมื่อทำการผลิตเสื่อรัศเหวนคาร์บอนและผลิตแหวนคาร์บอนแอนติโมนิให้ได้ตามแบบที่กำหนดจากนั้นให้นำเสื่อรัศเหวนเข้าสู่อบที่มีอุณหภูมิสูงเพื่อให้เสื่อสแตนเลสขยายตัวโดยอบใช้ระยะเวลาหนึ่งจากนั้นให้นำแหวนคาร์บอนแอนติโมนิเข้าสวมในบารัดแหวนจากนั้นปล่อยให้เสื่อสแตนเลสแหวนคาร์บอนเย็นตัว ดังภาพที่ 3.6 จากนั้นนำเสื่อสแตนเลสที่ฝึงแหวนคาร์บอนแอนติโมนิแล้วมาทำการเล็ปปิ้ง (Lapping) ให้ได้ค่าความได้ระนาบที่ 1 ถึง 2 แฉบแสง



ภาพที่ 3.6 เสื่อรัศเหวนและแหวนคาร์บอนแอนติโมนิหลังการฝึงแหวน

การประกอบประกอบแมคคานิคอลซีลเป็นชุดมีวิธีการประกอบดังนี้ นำโอริงมาประกอบใส่ในแหวนยัดจากนั้นนำสปริงมาประกอบใส่ในแหวนยัดและนำเสี้อัดแหวนที่แหวนแฉีกแล้วมาใส่ในแหวนยัด จากนั้นนำคลิปล็อกมาประกอบยึดระหว่างแหวนยัดและเสี้อัดแหวนจะได้ชุดหมุนของแมคคานิคอลซีล 1 ชุด ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ชุดแมคคานิคอลซีลแบบฝั้วแหวน

3.8 การตั้งค่าเครื่องตรวจวัดค่าความเครียด TC-31K [16]

3.8.1 เข้าไปตั้งค่า Coefficient

3.8.1.1 กดปุ่ม Power เพื่อเปิดเครื่องเข้าสู่ หน้าจอหลัก (Monitor Mode)

3.8.2.1 กดปุ่ม 4 / Disp Form

3.8.3.2 กดปุ่ม F1 เพื่อตั้งค่า Coefficient

3.8.4.3 ใสค่า Coefficient ที่ต้องการเป็นตัวเลข 4 หลัก

3.8.5.4 กด Shift เพื่อสลับค่า บวก และ ลบ

3.8.6.5 กด ENT เพื่อบันทึกค่าที่ตั้งไว้ลงในหน่วยความจำเครื่อง

3.8.2 การตั้งค่าจำนวนทศนิยม

3.8.2.1 จาก หน้าจอหลัก

3.8.2.2 กดปุ่ม 4 / Disp Form

3.8.2.3 กดปุ่ม F2 เพื่อตั้งค่าจำนวนหลักทศนิยม

3.8.2.4 กดเลข 3 เพื่อกำหนดหลักทศนิยม 3 ตำแหน่ง

3.8.2.5 กด ENT เพื่อบันทึกค่าที่ตั้งไว้ลงในหน่วยความจำเครื่อง

3.8.3 การเข้าสู่ โหมด การวัด

3.8.3.1 จาก หน้าจอหลัก

3.8.3.2 กดปุ่ม 0/ Simp - Mass เพื่อสลับกันระหว่าง Simple Measure Mode และ Mode การวัด

3.8.3.3 Simple Measure Mode จะมีค่าต่าง ๆ ให้เลือก เลือกสเตรนเกจ (Strain Gage)

3.8.4 การบันทึกข้อมูล

3.8.4.1 จาก หน้าจอหลัก

3.8.4.2 กดปุ่ม 2/M – WR เพื่อเข้าสู่การบันทึกจะปรากฏหมายเลขชุดของข้อมูลที่กำลังจะทำการบันทึก

3.8.4.3 กดปุ่ม ENT เพื่อเตรียมพร้อมที่จะทำการบันทึกข้อมูล

3.8.4.4 กดปุ่ม ENT อีกครั้งเพื่อกำหนดให้บันทึกลงในหมายเลขชุดของข้อมูลที่ปรากฏ

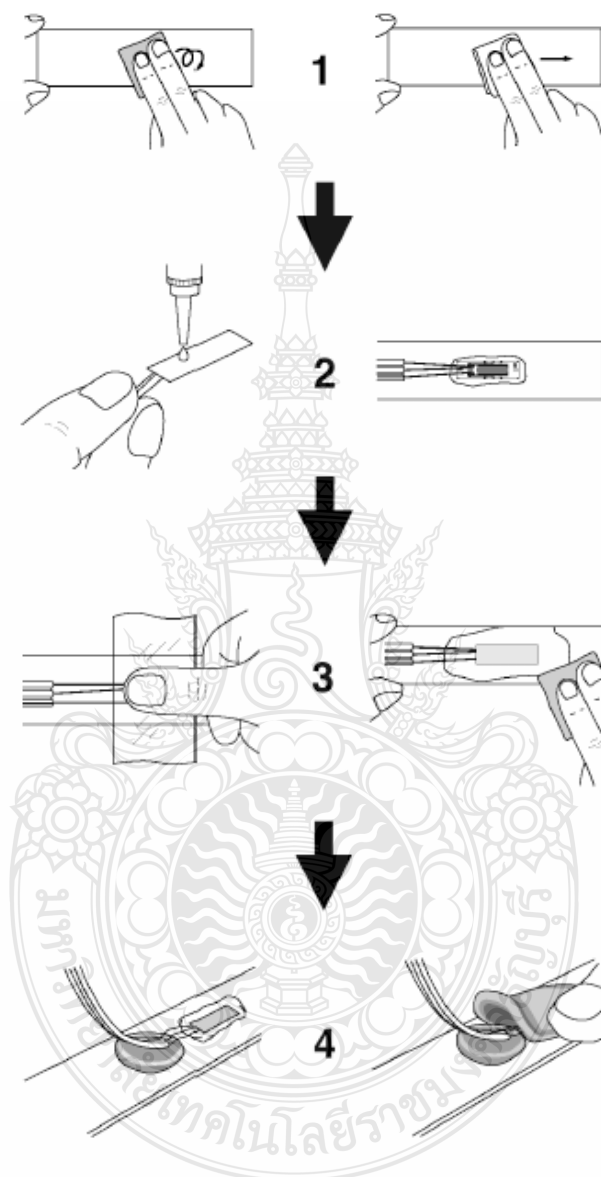
3.9 การติดตั้งสเตรนเกจ

การติดตั้งสเตรนเกจ ที่ดีประกอบด้วย 3 หลักการ คือ ขนาดและทิศทางของความเครียดของวัสดุต้องสามารถถ่ายทอดไปยังสเตรนเกจ ได้อย่างสมบูรณ์ ไม่เกิดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน และ รักษาความสามารถในการวัดความเครียดได้ในช่วงเวลาที่ต้องการ ได้เลือกสเตรนเกจ รุ่น ZFLA-6-11 โดยขั้นตอนการติดตั้งสเตรนเกจ แสดงได้ดังภาพที่ 3.8

พื้นผิวของวัสดุต้องมีความหยาบที่เหมาะสม เพื่อให้กาวสามารถยึดสเตรนเกจ เข้ากับวัสดุได้ดี การเพิ่มความหยาบของผิวในกรณีที่ผิววัสดุเรียบสามารถทำได้โดยการขัดด้วยกระดาษทราย นอกจากนี้สิ่งสกปรกต่างๆ บนผิว เช่น เศษวัสดุ ฝุ่น คราบน้ำมัน สารเคมี สี อาจส่งผลให้สเตรนเกจ ไม่สามารถยึดติดกับผิววัสดุได้อย่างสมบูรณ์ การทำความสะอาดผิวสามารถทำได้โดยการเช็ดใช้แอลกอฮอล์ แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด และทำให้แห้ง

กาวที่ใช้ติดตั้งสเตรนเกจ ต้องเป็นกาวที่มีความแข็งแรงสูง ทนอุณหภูมิได้สูง และสามารถเปลี่ยนแปลงขนาดตามการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุได้ทันที ดังนั้นกาวที่ใช้สำหรับติดตั้งสเตรนเกจ จึงขึ้นกับชนิดของวัสดุและอุณหภูมิได้เลือกใช้กาว NP-50 โดยการติดตั้งต้องวางตำแหน่งสเตรนเกจ ให้อยู่ในทิศทางของความเครียดที่ต้องการวัด การใช้กาว NP-50 ต้องทาลงบนส่วนล่างของ

ฟิล์มโพลีเมอร์ โดยใช้ในปริมาณที่เหมาะสม มีปริมาณเพียงพอที่จะยึดสเตรนเกจ กับผิววัสดุได้อย่างแข็งแรง แต่ไม่มากเกินไปจนส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุนอกจากนี้การกระจาย



ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการติดตั้งสเตรนเกจ [17]

ของกาว NP-50 ต้องสม่ำเสมอและทั่วถึงทุกส่วนของสเตรนเกจ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้แผ่นโพลีเมอร์พิเศษ กดสเตรนเกจให้แนบติดกับผิววัสดุจนกระทั่งกาว NP-50 แข็งตัว โดยแผ่นโพลีเมอร์นี้มีสมบัติไม่ติดกาว NP-50 และแผ่นโพลีเมอร์นี้ถูกจำหน่ายพร้อมกับสเตรนเกจ นอกจากนี้สเตรนเกจ

อาจถูกดึง จากสายสัญญาณไฟฟ้าจนหลุดจากผิววัสดุได้ ดังนั้นสายสัญญาณไฟฟ้าจึงควรวัดด้วยกาวหรือเทปกาว

3.10 การทดลองและการเก็บข้อมูล

3.10.1 ทำการทดสอบแบบแมคคานิคอลซีลแบบเพลลาไม่หมุน

3.10.1.1 นำแมคคานิคอลซีลที่ฝั่งแหวนเสร็จแล้วทำการแล็ปหน้าสัมผัสให้ได้ระนาบ 1-2 แฉวแสง

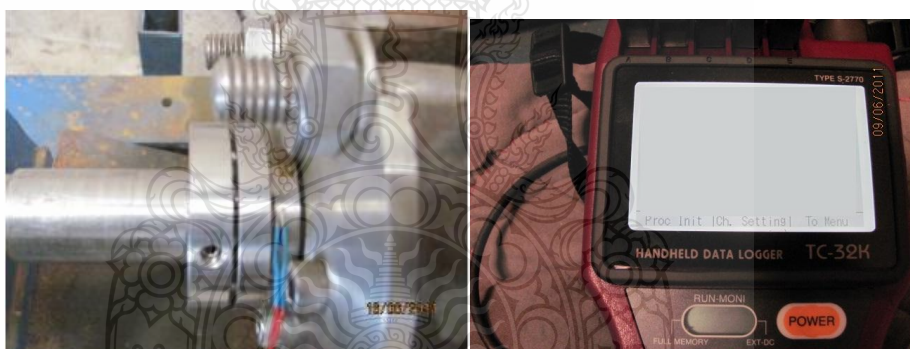
3.10.1.2 นำแมคคานิคอลซีลประกอบเข้าชุดเครื่องทดสอบ

3.10.1.3 ทำการติดสเตรนเกจที่ชุดแมคคานิคอลซีล

3.10.1.4 ให้อุณหภูมิเริ่มต้นที่เครื่องทดสอบ 50 องศาเซลเซียส

3.10.1.5 ทำการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งบันทึกข้อมูล

3.10.1.6 ทำการปรับอุณหภูมิสุดท้ายที่ 150 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.9 ติดสเตรนเกจที่แมคคานิคอลซีลแบบฝั่งแหวน



ภาพที่ 3.10 เครื่องทดสอบแมคคานิคอลซีล

3.10.2 ทำการทดสอบแบบแมคคานิคอลซีลแบบเฟลาหมุน

3.10.2.1 นำแมคคานิคอลซีลที่ฝั่งแหวนเสร็จแล้วทำการลับหน้าสัมผัสให้ได้ระนาบ 1-2 แฉวแสง

3.10.2.2 นำแมคคานิคอลซีลประกอบเข้าชุดเครื่องทดสอบ

3.10.2.3 ทำการเดินเครื่องทดสอบแมคคานิคอลซีล

3.10.2.4 ให้อุณหภูมิเริ่มต้นที่เครื่องทดสอบ 50 องศาเซลเซียส

3.10.2.5 ทำการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งบันทึกข้อมูล

3.10.2.6 ทำการปรับอุณหภูมิตสุดท้ายที่ 150 องศาเซลเซียส

3.11 แนวทางการแก้ไข

ในกรณีที่มีการรั่วที่อุณหภูมิต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส จะทำการออกเพิ่มค่ารัศแหวนใหม่ด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แล้วจึงผลิตชิ้นงานขึ้นมาทดสอบว่าสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

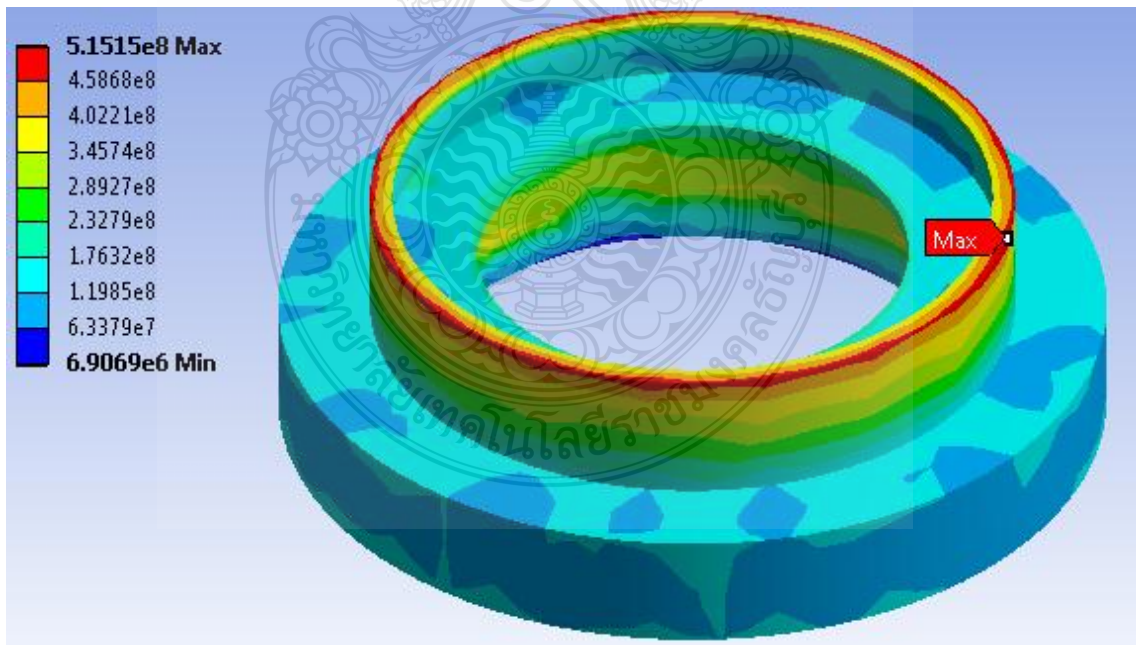
บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ของแมคคานิคอลซีลแบบฝั้วแหวน

แมคคานิคอลซีลแบบฝั้วแหวน นี้จะถูกนำไปใช้เป็นอุปกรณ์กันรั่วตามแกนเพลลาของปั๊มที่ทำงานโดยแรงเหวี่ยง ซึ่งเป็นเครื่องจักรหลักในอุตสาหกรรมที่ใช้แมคคานิคอลซีลที่อยู่ในปั๊มดังกล่าว มักมีผลิตภัณฑ์ที่ความดันสูงและอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ตัวอย่าง เช่น ปั๊มน้ำลีย้อมผ้า ปั๊มน้ำมันร้อน (Hot Oil Pump) ปั๊มน้ำร้อน (Feed Pump) จะอายุการใช้งานได้สั้น และผู้ใช้งานไม่มีความเชื่อมั่นว่าแมคคานิคอลซีลแบบฝั้วแหวนจะสามารถใช้งานได้

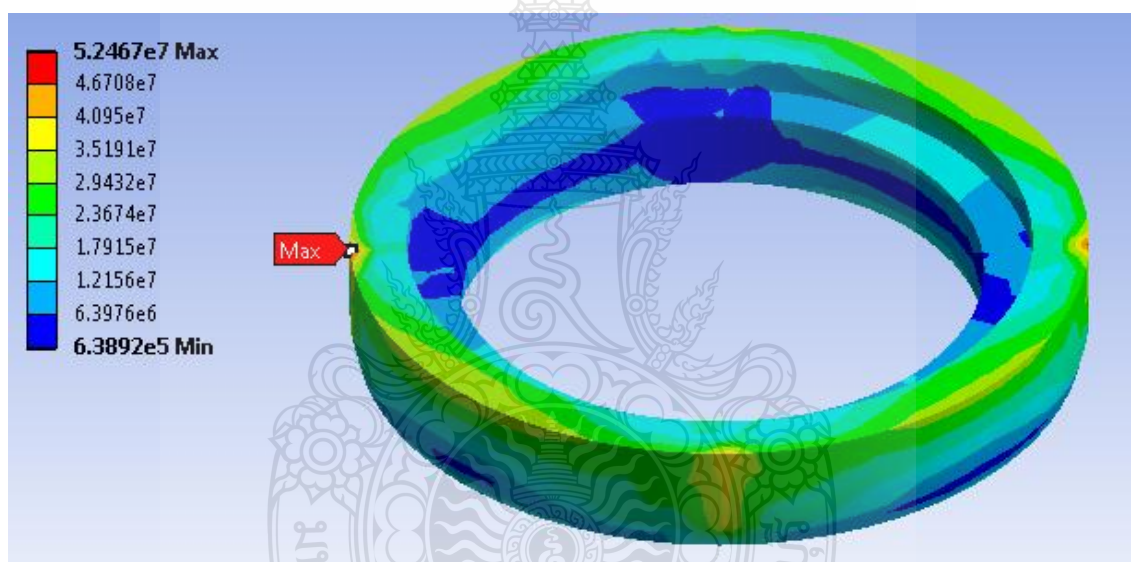
ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแบบจำลองของการความเค้นเนื่องจากความร้อนเริ่มจากการแบ่งจำนวนเอลิเมนต์ของแบบจำลองเป็นจำนวน 1,652 เอลิเมนต์ ประกอบด้วยจุดต่อทั้งหมด 3,298 จุดต่อ จากนั้นกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง โดยให้ความร้อนภายในเสี้อัดแหวน และกำหนดความดันภายใน โดยจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และความดัน 20 บาร์ ทำการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความเค้นด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลที่ได้จากผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จะพบว่าที่ตำแหน่งขอบแหวนเกิดความเค้นสูงสุดและ ผู้ทำวิจัยได้ทำการเพิ่มค่าความเค้นที่ขอบแหวนให้มีค่ามากกว่าเดิมโดยการปรับค่ารัศมีให้มีการรัศมีแหวนคาร์บอนมากขึ้นแต่ค่ารัศมีจะไม่ส่งผลกระทบต่อแหวนคาร์บอนให้เกิดความเสียหาย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแบบจำลองของการความเค้นเนื่องจากความร้อนเริ่มจากการแบ่งจำนวนเอลิเมนต์ของแบบจำลองเป็นจำนวน 955 เอลิเมนต์ ประกอบด้วยจุดต่อทั้งหมด 1,938 จุดต่อ จากนั้นกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง โดยให้ความร้อนภายในเสื้อรัดแหวนและกำหนดความดันภายใน โดยจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และความดัน 20 บาร์ ทำการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 4.2 ผลวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จะพบที่ตำแหน่งขอบแหวนเกิดความเค้นสูงสุดมีค่า $5.2476 \times 10^7 \text{ Pa}$

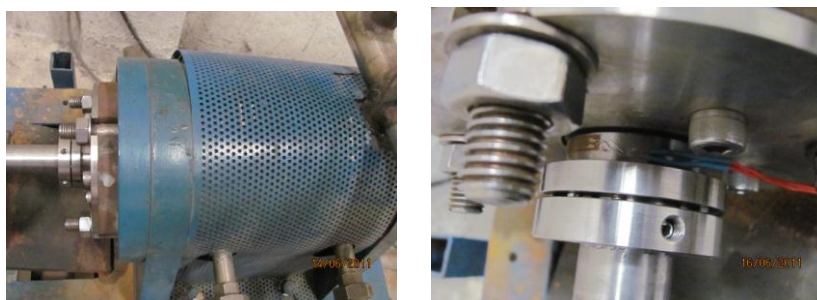


ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความเค้นด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

4.2 ผลการทดลองของแมคคานิคอลซีลแบบฝั่แหวน

4.2.1 ผลการทดสอบแมคคานิคอลซีลแบบไม่หมุนเพลลา

ผู้ทำวิจัยทำการประกอบแหวนคาร์บอนแอนติโมนีเข้าไปในเสื้อสแตนเลสเกรด 304 ทำการประกอบเข้าป้่มทดสอบทำการทดสอบพร้อมกับวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับเสื้อ สแตนเลสเกรด 304 ด้วยเครื่องมือวัดความเครียด



ภาพที่ 4.3 ทดสอบการแมคคานิคอลซีลฝั้วแหวนแบบไม่เคลื่อนที่

จากตารางที่ 4.1 นำค่าเฉลี่ยมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับอุณหภูมิได้ดังภาพที่ 4.4 จะพบว่าอุณหภูมิเริ่มทดสอบที่ 50 องศาเซลเซียสจะอ่านค่าจากเครื่องมือวัดสเตรนเกจได้ค่าเฉลี่ย 28 ไมโครสเตรนไม่มีการรั่วไหลที่ขอบแหวนรัดแมคคานิคอลซีลเพื่ออุณหภูมิไปถึง 100 องศาเซลเซียส จะอ่านค่าจากเครื่องมือวัดสเตรนเกจได้ค่าเฉลี่ย 244 ไมโครสเตรน ยังไม่มีการรั่วไหลที่ขอบแหวนรัดแมคคานิคอลซีลและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปถึงที่ 150 องศาเซลเซียส

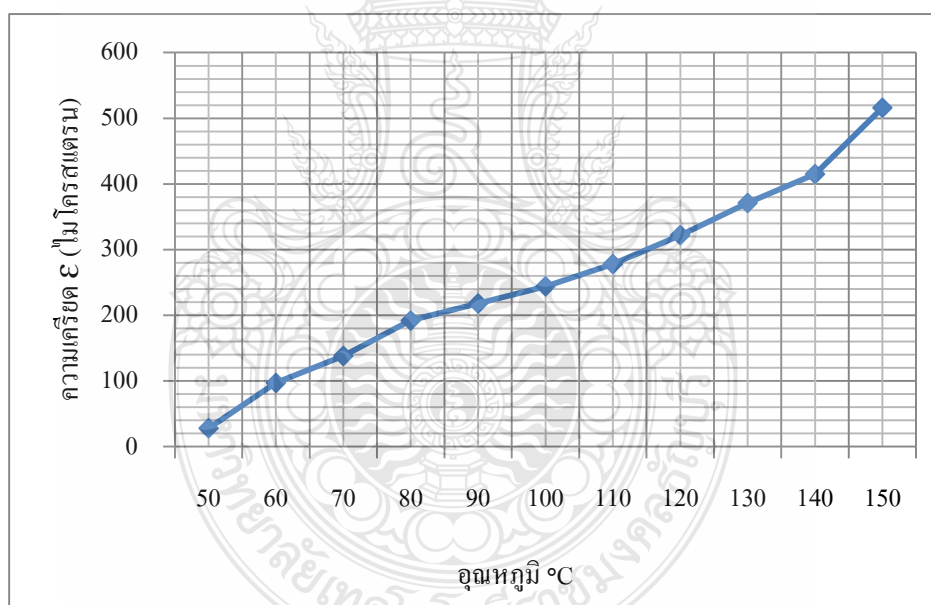
ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดสอบแมคคานิคอลซีลแบบไม่หมุนเพลลาของสแตนเลส 304 ความดัน 20 บาร์ เวลา 30 นาที

อุณหภูมิ (°C)	ไมโครสเตรน(με)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
50	30	28	27	28
60	99	96	97	97
70	140	137	138	138
80	190	191	194	192
90	220	217	217	218
100	242	247	244	244
110	280	277	277	278
120	320	321	323	322
130	373	370	371	371
140	414	415	415	415
150	517	516	516	516

จะอ่านค่าจากเครื่องมือวัดสเตรนเกจได้ค่าเฉลี่ย 516 ไมโครสเตรนยังไม่มีกรร้าวไหลที่ขอบแหวนรัดแมคคานิคอลซีล ดังนั้นจากการทดสอบการสแตนเลสเกรด 304 ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 20 บาร์

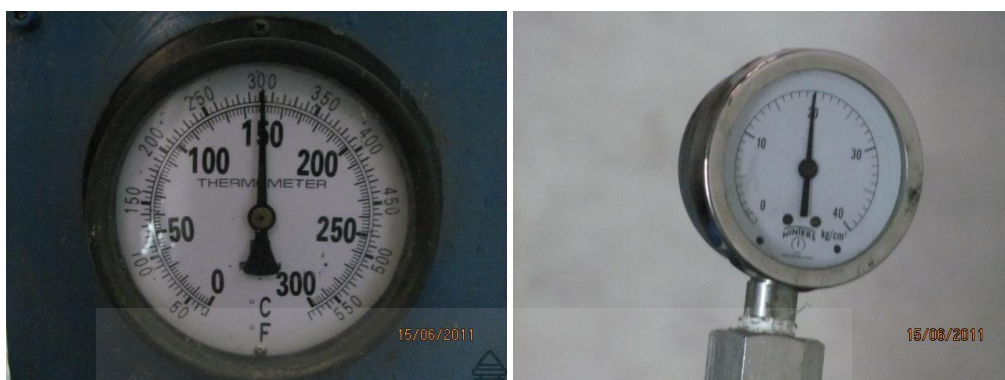


ภาพที่ 4.4 ความดันและอุณหภูมิที่ทดสอบสแตนเลส 304



ภาพที่ 4.5 ผลการทดสอบการแมคคานิคอลซีลฝั่งแหวนสแตนเลสเกรด 304

ผู้ทำวิจัยทำการประกอบแหวนคาร์บอนแอนดิมอนิเข้าไปในเสื้อสแตนเลสเกรด 316 ทำการประกอบเข้าป้อมทดสอบทำการทดสอบพร้อมกับวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับเสื้อ สแตนเลสเกรด 316 ด้วยเครื่องมือวัดความเครียด



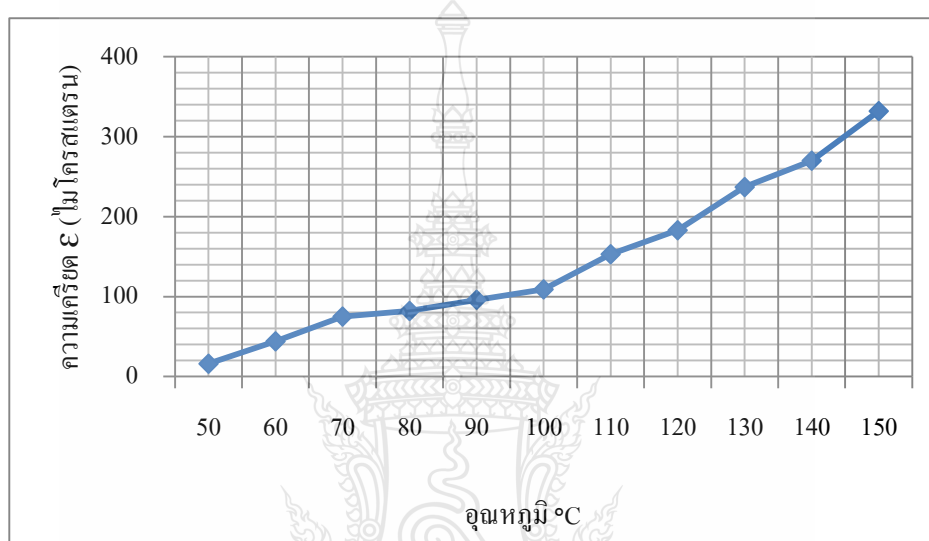
ภาพที่ 4.6 ความดันและอุณหภูมิที่ทดสอบสแตนเลส 316

จากตารางที่ 4.2 นำค่าเฉลี่ยมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเคียวกับอุณหภูมิได้ดังภาพที่ 4.7 ซึ่งจะพบว่าอุณหภูมิเริ่มทดสอบที่ 50 องศาเซลเซียสจะอ่านค่าจากเครื่องมือวัดสเตรนเกจได้ค่าเฉลี่ย 16 ไมโครสเตรนไม่มีการรื้อไหลที่ขอบแหวนรัดแมคคานิคอลซีล

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดสอบแมคคานิคอลซีลแบบไม่หมุนเพลลาของสแตนเลส 316 ความดัน 20 บาร์ เวลา 30 นาที

อุณหภูมิ (°C)	ไมโครสเตรน ($\mu\epsilon$)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
50	16	17	16	16
60	44	46	43	44
70	75	73	76	75
80	80	83	82	82
90	98	94	95	96
100	109	110	109	109
110	152	153	153	153
120	185	182	182	183
130	237	237	236	237
140	270	270	269	270
150	332	332	331	332

เมื่ออุณหภูมิไปถึง 100 องศาเซลเซียสจะอ่านค่าจากเครื่องมือวัดสเตรนเกจได้ค่าเฉลี่ย 109 ไมโครสเตรน ยังไม่มีการร้าวไหลที่ขอบแหวนรัดแมคคานิคอลซีลและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปถึงที่ 150 องศาเซลเซียสจะอ่านค่าจากเครื่องมือวัดสเตรนเกจได้ค่าเฉลี่ย 332 ไมโครสเตรนยังไม่มี การร้าวไหลที่ขอบแหวนรัดแมคคานิคอลซีลดังนั้นจากการทดสอบการสแตนเลสเกรด 316 ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 20 บาร์สามารถใช้งานได้



ภาพที่ 4.7 ผลการทดสอบการแมคคานิคอลซีลฝั่งแหวนสแตนเลสเกรด 316

4.2.2 ผลการทดสอบแมคคานิคอลซีลแบบหมุนเพลลา

เมื่อทำการทดสอบผ่านแล้วจากนั้นทำการถอดแผ่นสเตรนเกจออกจากขอบแหวนแมคคานิคอลซีลแล้วทำการทดสอบแมคคานิคอลซีลโดยการเดินเครื่องให้แมคคานิคอลซีลหมุนทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที เริ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดันเฉลี่ย 0 บาร์ เพิ่มอุณหภูมิขึ้นครั้งละ 10 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความดันเฉลี่ย 4 บาร์ ไม่พบการร้าวที่ขอบแหวนรัดแมคคานิคอลซีล เพิ่มอุณหภูมิขึ้นครั้งละ 10 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดันเฉลี่ย 20 บาร์ ไม่พบการร้าวที่ขอบแหวนรัดแมคคานิคอลซีล



ภาพที่ 4.8 ทดสอบการแมคคานิคอลซีลฝั้แหวนแบบหมุนเพลลา

ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดสอบการใช้งานแมคคานิคอลซีลแบบฝั้แหวน (สแตนเลส 304)

ความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที เวลาทดสอบ 30 นาที

อุณหภูมิ(°C)	ความค้้น (bar)			
	ครั้้งที่ 1	ครั้้งที่ 2	ครั้้งที่ 3	เฉลี่ย
50	0	0	0	0
60	0	0	0	0
70	0	0	0	0
80	0	0	0	0
90	2	2	2	2
100	3	4	4	4
110	7	6	7	7
120	15	15	14	15
130	20	20	20	20
140	20	20	20	20
150	20	20	20	20

ตารางที่ 4.4 บันทึกผลการทดสอบการใช้งานแมคคานิคอลซีลแบบฟุ้งแหวน (สแตนเลส 316)
ความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที เวลาทดสอบ 30 นาที

อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (bar)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
50	0	0	0	0
60	0	0	0	0
70	0	0	0	0
80	0	0	0	0
90	2	2	2	2
100	2	4	4	4
110	8	6	7	7
120	14	15	14	14
130	20	20	20	20
140	20	20	20	20
150	20	20	20	20

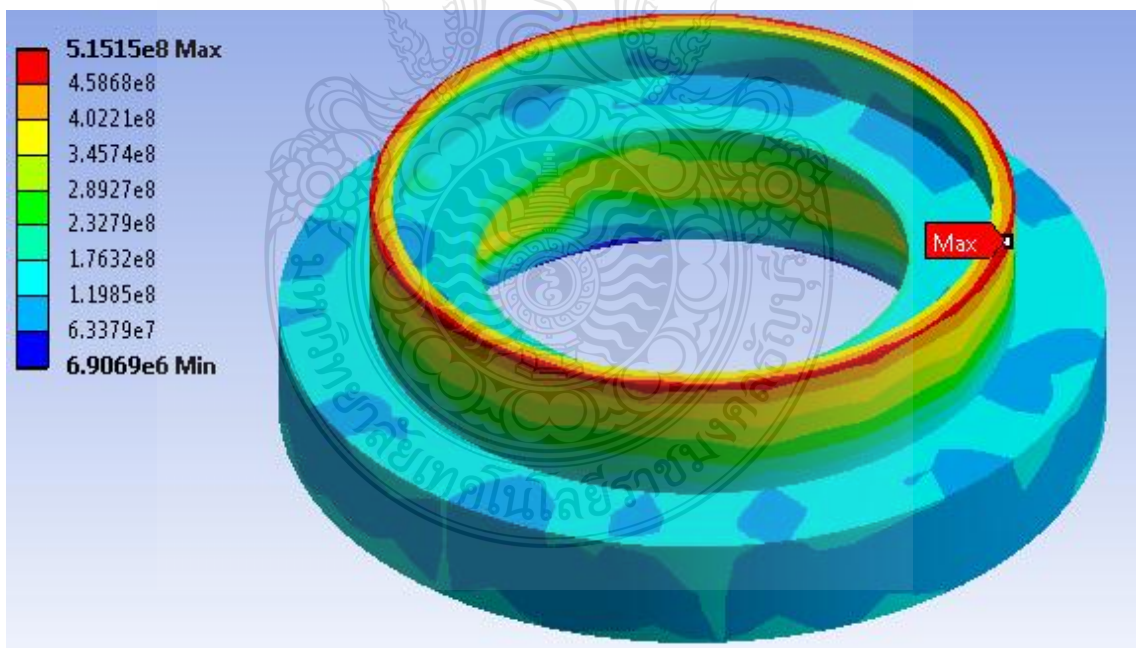


บทที่ 5

สรุปผลดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์การความเค้นโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากการศึกษาแบบจำลองการความเค้นโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยเริ่มจากการแบ่งจำนวนเอลิเมนต์ของแบบจำลองซึ่งในกรณีนี้ค่าเหมาะสมจากการคำนวณของโปรแกรมเป็นจำนวน 1,652 เอลิเมนต์ ประกอบด้วยจุดต่อทั้งหมด 3,298 จุดต่อ จากนั้นกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองเลือกค่ารัศมีแหวนที่ทำการทดลอง อุณหภูมิในการทดสอบที่ 150 องศาเซลเซียส ความดันที่ 20 บาร์ พบว่าแบบจำลองจะมีค่าความเค้นสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งขอบในที่รัศมีค่าความเค้นมีค่า 5.1515×10^8 Pa ดังแสดงในภาพที่ 5.1 และจากผลการวิเคราะห์การความเค้นโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าค่าความเค้นที่เกิดขึ้น 6.2992×10^8 Pa เพราะค่าความเค้นดังกล่าวจะเกิดขึ้นในการใช้งานจริงตั้งแต่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของแหวนเป็นเหตุให้เกิดการร้าวที่ขอบแหวนของแหวนใหม่



ภาพที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์การความเค้นบนชิ้นงานด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์



ภาพที่ 5.2 ชิ้นงานที่ใช้งานอุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์จากการทดลองจริง

จากนั้นนำค่าที่ได้จากวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์มาผลิตเสื้อรัดแหวนและแหวนปฐมภูมิได้ทำการทดสอบแมคคานิคอลซีลแบบฝั่แหวนคาร์บอนแอนดิมอนิด้วยเครื่องทดสอบแบบไม่มีการหมุนของชุดแมคคานิคอลซีล จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการทดสอบที่ 50 องศาเซลเซียส ความดันที่ 20 บาร์ จะอ่านค่าจากมิเตอร์วัดความเครียดได้ค่า ค่าหนึ่ง และเพิ่มอุณหภูมิขึ้นครั้งละ 10 องศาเซลเซียส ไปจนถึงอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดันที่ 20 บาร์ ค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์วัดความเครียดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอุณหภูมิ



ภาพที่ 5.3 แมคคานิคอลซีลก่อนฝั่แหวน

และจากการทดสอบดังกล่าวไม่พบการรั่วที่ขอบแหวนเสื้อแหวนรัดคาร์บอน และทำการทดสอบแมคคานิคอลซีลต่อด้วยวิธีการทดสอบให้ชุดแมคคานิคอลซีลหมุน อุณหภูมิเริ่มต้นในการทดสอบที่ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ไม่พบการรั่วไหลที่ขอบแหวนรัดเสื้อแมคคานิคอลซีล แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้นครั้งละ 10 องศาเซลเซียส ไปจนถึงอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ไม่พบการรั่วไหลที่ขอบแหวนรัดท่อแมคคานิคอลซีลซึ่งค่ารัศมีแหวนที่ใช้ในการทดสอบความเค้นมีค่า 5.1515×10^8 Pa จากการปรับปรุงค่ารัศมีแหวนผลการทดสอบสแตนเลสทั้งสองเกรด สามารถใช้งานได้ ไม่พบการรั่วที่ขอบแหวน



ภาพที่ 5.4 แมคคานิคอลซีลหลังฝั้แหวน



ภาพที่ 5.5 ชุดแมคคานิคอลซีลแบบฝั้แหวน

ได้นำผลการทดลองมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบแมคคานิคอลซีลแบบฝั้แหวนวัสดุที่ใช้ในการผลิตมีรายการดังนี้สแตนเลส 316 แหวนคาร์บอนแอนดิมอนิฐานซิลใช้สแตนเลสชุบแข็ง อุณหภูมิ 120-150 องศาเซลเซียสความดัน 6 บาร์ ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,450 รอบต่อนาที สปริงที่

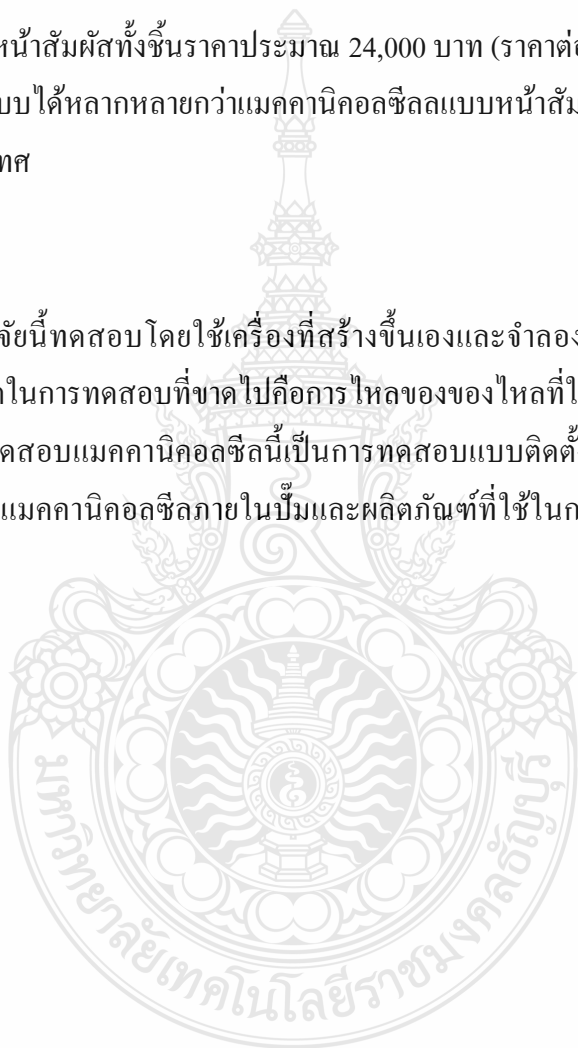
ใช้เป็นสปริงเดี่ยว ผลิตจากนํ้ามันร้อน ขนาดเพลลา 25.0 มิลลิเมตร และการออกแบบแมคคานิคอลซีลแบบฝิ่งแหวน วัสดุที่ใช้ในการผลิตมีรายการดังนี้ เสื่อสแตนเลส 316 แหวนคาร์บอนแอนติโมนิ ฐานซีลใช้ สแตนเลสชุบแข็ง อุณหภูมิ 130-150 องศาเซลเซียสความดัน 6-7 บาร์ ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,450 รอบต่อนาที สปริงที่ใช้เป็นสปริงชุด ผลิตจากนํ้ามันร้อน ขนาดเพลลา 30.0 มิลลิเมตร เดิมแมคคานิคอลซีลแบบฝิ่งแหวนเดิมไม่สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศา เซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบราคาแมคคานิคอลซีลแบบฝิ่งแหวนซึ่งมีราคาประมาณ 10,000 บาท กับแมคคานิคอลซีลแบบหน้าสัมผัสทั้งชิ้นราคาประมาณ 24,000 บาท (ราคาต่อชุด) แมคคานิคอลซีลแบบฝิ่งแหวนสามารถออกแบบได้หลากหลายกว่าแมคคานิคอลซีลแบบหน้าสัมผัสทั้งชิ้นซึ่งเป็นแมคคานิคอลซีลที่ผลิตในประเทศ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การวิจัยนี้ทดสอบโดยใช้เครื่องที่สร้างขึ้นเองและจำลองการใช้งานที่ความดันและอุณหภูมิและมีข้อจำกัดในการทดสอบที่ขาดไปคือการไหลของของไหลที่ใช้ทดสอบ

5.2.2 การทดสอบแมคคานิคอลซีลนี้เป็นการทดสอบแบบติดตั้งภายนอกปั๊ม แต่ยังไม่ได้มีการทดสอบการติดตั้งแมคคานิคอลซีลภายในปั๊มและผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบควรมีมากกว่านี้ เช่น น้ำเชื่อม



รายการอ้างอิง

- [1] บริษัทซีโร-ลิก จำกัด, **Mechanical Seal Handbook**. 2543.
- [2] บริษัทซีโร-ลิก จำกัด **คู่มือฝึกอบรม Mechanical Seal**. 2543
- [3] API Std 682, Pumps—Shaft Sealing Systems for Centrifugal and Rotary Pumps
- [4] J.D. Summers-smith, **Mechanical seal practice for improved performance**. London
- [5] James P.Netzel, **Centrifugal Pump Mechanical seal** Pump Handbook, Igor J. Karassik
P.2.197-2.237
- [6] Alan O.Lebeck , **PRINCIPLES AND DESIGN OF MECHANICAL FACE SEALS**.
A Wiley, New York, 1991
- [7] สแตนเลสเกรด 304, **azom.com** (ออนไลน์),
http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=965#_Background (สืบค้นเมื่อ 7 มีนาคม 2554)
- [8] สแตนเลสเกรด 316, **azom.com** (ออนไลน์),
http://www.azom.com/details.asp?Articleid=863#_Background (สืบค้นเมื่อ 7 มีนาคม 2554)
- [9] วิศรุต ศรีรัตนะ, **เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม**. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
(มหาชน), 2550.
- [10] Srinath , **ADVANCED MECHANICS of SOLIDS**. 2nded. New Delhi: McGraw-Hill 2003.
- [11] เดช พุทธเจริญทอง, **การวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์**.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี.2541
- [12] ปราโมทย์ เคะชะอำไพ, **ไฟไนต์เอลิเมนต์ ในทางวิศวกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 4.สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550
- [13] Adams. **Mechanical seal construction**. United States Patent 3,765,689. October 16, 1973
- [14] Masaya (Ibaraki, JP), Watanabe (Hitachi, JP). **Mechanical seal**. United States Patent
4,145,059. Mar 20,1979
- [15] Lummila , et al. **Slide ring seal**. United States Patent 4,773,655. September 27, 1988
- [16] บริษัท ทีเอ็มแอล จำกัด, **คู่มือการใช้งานสเตรนเกจ**, หน้า 1-18,41.
- [17] รศ.ดร. ชวสวน กาญจโนมัยม, **ME 301 Mechanical Engineering Laboratory I**, (ออนไลน์),
<http://charnnarong.me.engr.tu.ac.th/charnnarong/My%20classes/ME321/Lab3.pdf>
(สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2555)

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้สเตรนเกจ

GENERAL DESCRIPTION

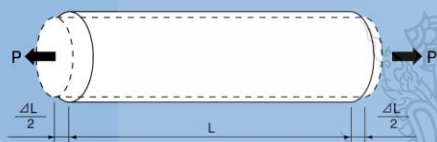
TML Strain Gauges are widely used for physical force measurement in mechanical, marine, aircraft and civil engineering as well as the fields of architecture, automobiles, and medical science.

Strain is measured; to determine a degree of deformation due to mechanical strain to determine forces such as stress or load and the degree of safety of a material or of a structural element that uses that material.

There are a number of ways of measuring strain mechanically and electrically, but the vast majority of stress measurement is carried out using strain gauges due to their superior measurement characteristics. Backed by our long experience and advanced technology, TML lines up a lot of strain gauges to meet with your needs.

What is STRAIN

When a material is stretched (or compressed), the force used generates a corresponding stress inside. This stress in turn generates a proportional tensile strain (or compressive strain) which deforms the material by $L + \Delta L$ (or $L - \Delta L$). Where L is the original length of the material. When this occurs, the ratio of ΔL to L is called strain.



$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

ϵ : strain
 L : Original length of material
 ΔL : Increment due to force P

Example) when a material of 100mm length deforms by 0.1mm length, it generates strain as follows.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{0.1}{100} = 0.001 = 1000 \times 10^{-6}$$

What is STRAIN GAUGE

External force applied to a ferritic material generates physical deformation and electrical resistance change of the material. In case that such material is stuck onto test specimen via electrical insulation, the material produces a change of electrical resistance corresponding to the deformation. Strain gauges consist of electrical resistance material and measure proportional strains to the resistance changes.

STRAIN GAUGE PRINCIPLES

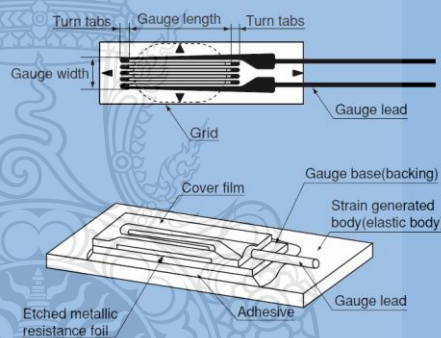
When strain is generated in a test specimen and a strain gauge is attached, the strain is relayed via the gauge base (electrical insulation) to the resistance wire or foil in the gauge. As a result, the fine wire or foil experiences a variation in electrical resistance. This variation is exactly proportional to the strain.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R}{R} \cdot K$$

ϵ : strain measured
 R : Gauge resistance
 ΔR : Resistance change due to strain
 K : Gauge Factor as shown on package

STRAIN GAUGE CONFIGURATION

A strain gauge is constructed by bonding a fine electric resistance wire or photographically etched metallic resistance foil to an electrical insulation base using an appropriate bonding materials, and attaching gauge leads.



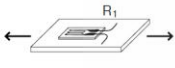
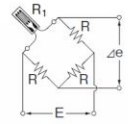
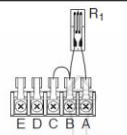
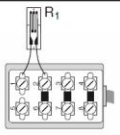
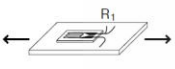
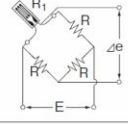
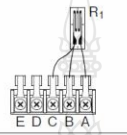
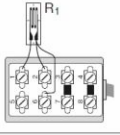
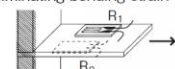
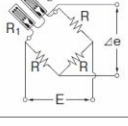
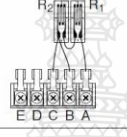
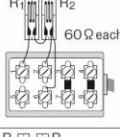
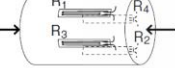
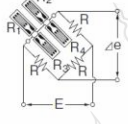
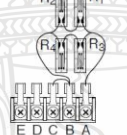
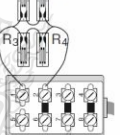

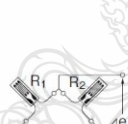
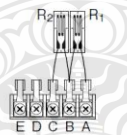
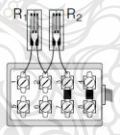

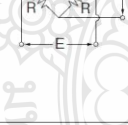


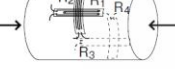
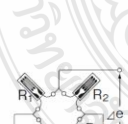
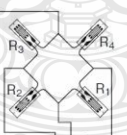
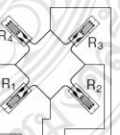
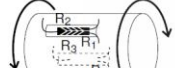
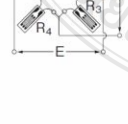
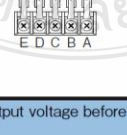
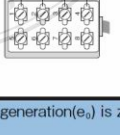
SELECTING STRAIN GAUGES

Strain gauges are provided with many convenient features, but they also have limitations. Each strain gauge has its limitations in terms of temperature, fatigue, the amount of strain, and the measurement environment. These limitations must be examined before a strain gauge is used.

- Strain Gauge Featuring
 - Simple construction with a small mass and volume so as not to interfere with the stresses on the specimen.
 - Short distance between measuring points for localized evaluation.
 - Good frequency response for tracking rapid fluctuations in stress.
 - Simultaneous measurement of multiple points and remote measurement.
 - Electrical output for easy data processing.

STRAIN GAUGE BRIDGE

Connection diagram varies according to strainmeter type.

Measuring mode	Bridge circuit	On switching box	On bridge box	Bridge output
				<p>E : Exciting voltage e : Output voltage Δe : Output voltage due to strain e₀ : Output voltage before strain generation R₀ : Resistance before strain generation ΔR : Resistance change due to strain ε : Strain K : Gauge Factor e = e₀ + Δe R₁ = R₀ + ΔR R = R₀ Δe = $\frac{E}{4} K \epsilon$</p>
				<p>R₁ = R₀ + ΔR R₂ = R₀ + ΔR R = 2R₀ Δe = $\frac{E}{4} K \epsilon$</p>
				<p>R₁ = R₀ + ΔR R₂ = R₀ + ΔR R = 2R₀ Δe = $\frac{E}{4} K \epsilon$</p>
				<p>R₁ = R₂ = R₃ = R₄ = R₀ + ΔR R = R₀ Δe = $\frac{E}{4} K \epsilon$</p>
				<p>R₁ = R₀ + ΔR R₂ = R₀ = R Δe = $\frac{E}{4} K \epsilon$</p>
				<p>R₁ = R₀ + ΔR R₂ = R₀ - ΔR R = R₀ Δe = $\frac{E}{2} K \epsilon$</p>
				<p>R₁ = R₃ = R₀ + ΔR R₂ = R₄ = R₀ - ΔR Δe = $\frac{E(1 + \nu)}{2} K \epsilon$ ν : Poisson's ratio</p>
				<p>R₁ = R₃ = R₀ + ΔR R₂ = R₄ = R₀ - ΔR Δe = EKε</p>

Output voltage due to strain is based on the condition that output voltage before strain generation(e₀) is zero.

TML STRAIN GAUGES SELECTION

1. Measuring purpose

Material	Purpose	Operating temperature	Gauge series	Bonding adhesive	Coating materials	Extension wire
Metal Mild steel (ferritic) Stainless steel Copper alloy Aluminium Other metals	General purpose	Room (-20~+80°C)	F/PF	CN/P-2/EB-2	W-1/N-1/SB tape	Vinyl/Enamel
		High temperature (-20~+150°C)	UF	CN/EB-2 NP-50	W-1/N-1/SB tape	Vinyl/FEP(6F)
		High temperature (-20~+200°C)	QF	C-1/NP-50	KE-348	FEP(6F)/PTFE(4F)
		High temperature (-20~+300°C)	ZF	C-1/NP-50	TSE3976-B	PTFE(4F)
		High temperature (-196~+300°C)	AW-6 AWM	Spot welding	Contact TML	PTFE(4F) MI cable
		Dynamic use only High temperature (-196~+800°C)	AWMD	Spot welding	Contact TML	MI cable
		High temperature (-196~+800°C)	AWHU	Spot welding	Contact TML	MI cable
		High temperature (-196~+650°C)	AWH	Spot welding	Contact TML	MI cable
		Cryogenic temperature (-269~+80°C)	CF	EA-2A/C-1	K-1	FEP(6F)/PTFE(4F)
	Wide range (-269~+200°C)	CEF	C-1	Contact TML	FEP(6F)/PTFE(4F)	
	Long-term	Room (-20~+80°C)	ZF AW-6	CN/C-1/NP-50 Spot welding	Bond 1521B W-1/SB tape	Vinyl/Cross-linked-vinyl/PTFE(4F)
	Stress concentration	Room (-20~+80°C)	FXV/FYV FBXV/FBYV CCFX/CCFYX	CN/P-2/EB-2	W-1/SB tape	Vinyl
		High temperature (-20~+200°C)	QFXV/QFYV QFBXV/QFBYV	C-1/NP-50	KE-348	FEP (6F)
	Residual stress	Room (-20~+80°C)	FRS/FRAS	CN/P-2/EB-2	W-1/SB tape	Vinyl
	Torque	Room (-20~+80°C)	FCT	CN/P-2/EB-2	W-1/SB tape	Vinyl
		High temperature (-20~+200°C)	QFCT	NP-50/C-1	KE-348	FEP (6F)
	Shearing strain	High temperature (-20~+200°C)	QFLT	NP-50/C-1	KE-348	Vinyl
	Bending strain	Room (-10~+70°C)	DD	CN/P-2	****	Vinyl
	Bolt axis	Room (-10~+80°C)	BTM	A-2	****	Vinyl
		Room (0~+60°C)	BTMP-10A	****	****	****
Large strains (Elongation)	Room (-20~+80°C)	YEF/YF YUF	CN/CN-Y	SB tape	Vinyl	
Metal Concrete	Magnetic field	Room (-20~+80°C)	MF	CN/CN-E/RP-2	W-1/SB tape	Twisted vinyl Shielded vinyl
Concrete Mortar	Surface strain	Room (-20~+80°C)	P/PF	CN-E/RP-2	W-1/SB tape	Vinyl
		Long-term use Room (-20~+80°C)	FLM/WFLM	PS		
Asphalt	Inner strain	Room (-20~+60°C)	PM/PMF	Embedment	****	Vinyl
	Surface strain	Room (-20~+80°C)	SSM	RP-2/PS	****	Vinyl
Plastics	General purpose	Room (-20~+60°C)	PMFLS	Embedment	****	Chloroprene
		Room temperature (-20~+80°C)	GF	CN	W-1/N-1 SB tape	Vinyl
Composite	General purpose	High temperature (-20~+200°C)	BF	CN/NP-50	W-1/KE-348	Vinyl
Composite	General purpose	Static (-30~+120°C) Dynamic (-30~+150°C)	UBF	CN/NP-50	W-1/KE-348	Vinyl
Wood/Gypsum	General purpose	Room (-20~+80°C)	LF	CN-E	W-1	Vinyl
Wood	General purpose	Long-term use Room (-20~+80°C)	PFLW/PLW	PS	W-1/N-1 SB tape	Vinyl
General	Temperature	-20~+200°C	TF	CN/C-1/NP-50	W-1/SB tape	Vinyl

PRIMARY INSTALLATIONS

When bonding the strain gauges, the most suitable adhesive should be selected for each application. A typical installation procedure is described below using the fast-curing adhesive CN.

1. Preparation

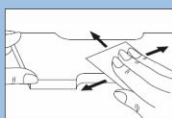
The following items are required for bonding and lead wire connection: Strain gauges, bonding adhesive, connecting terminals, test specimen, solvent, cleaning tissue for industrial use, soldering iron, solder, abrasive paper (120 - 320 grit), marking pencil, scale, tweezers, extension lead wire, polyethylene sheet, nippers.

2. Positioning

Roughly determine the location on the test specimen where the strain gauge is to be bonded.

3. Surface preparation

Before bonding, remove all grease, rust, paint, etc., from the bonding area. Sand an area somewhat larger than the bonding area uniformly and finely with abrasive paper. Finish the surface with #120 to 180 abrasive paper for steel, or #240 to 320 for aluminium.



4. Fine cleaning

Clean the bonding area with industrial tissue paper or cloth soaked in a small quantity of chemical solvent such as acetone. Continue cleaning until a new tissue or cloth comes away completely free of contamination. Following the surface preparation, be sure to attach the gauge before the surface becomes covered with an oxidizing membrane or becomes newly contaminated.



5. Applying bonding adhesive

Drop the proper amount of adhesive onto the back of the gauge base. Usually one drop of adhesive will suffice, but you may increase the number of drops according to the size of the gauge. Use the adhesive nozzle to spread the adhesive over the back surface thinly and uniformly.



6. Curing and pressing

Place the gauge on the guide mark, place a polyethylene sheet onto it and press down on the gauge constantly using your thumb or a gauge pressing device. This should be done quickly as the curing process is completed very fast. The curing time varies depending on the gauge, test specimen, temperature, humidity and pressing force. The curing time under normal conditions is 20 - 60 seconds.



7. Raising the gauge leads

After curing completely, remove the polyethylene sheet, and raise the gauge leads with a pair of tweezers.



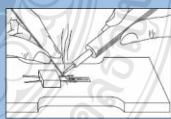
8. Bonding connecting terminals

Position the proper size connecting terminals adjacent to the bonded gauge. A distance of 3 - 5mm generally allows for easier wiring later.



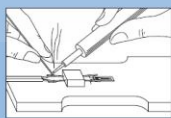
9. Soldering the gauge leads

Wrap the gauge leads around the connecting terminal wires. Solder the junction area with a little slack in the gauge leads, taking care to prevent excessive tension during measurement.



10. Soldering extension lead wires

Solder an extension lead wire to the terminal wires on the opposite side of the connecting terminals. Clip off any excess extension lead wire with a pair of pliers or wire cutters.



LEAD WIRES

Effects of lead wire temperature



General wiring method and bridge configuration

Bridge configuration	Lead wires	Availability during measurement with temperature change
Quarter bridge with 2-wire	Paralleled 2-wire	Not available
Quarter bridge with 3-wire	Paralleled 2-wire	Available
Half bridge	Paralleled 2-/3-wire	Available
Full bridge	4-core cable	Available

With 2-wire system, changes in lead wire temperature cause changes in the lead wire resistance which in turn generate thermal output.

The lead wire temperature has not effect on thermal output for quarter bridge with 3-wire system.

Connections of strain gauge and extension lead wires

Lead wires connection	Strain gauge connection
Paralleled 2-wire pre-attached to quarter bridge	
Paralleled 3-wire pre-attached to quarter bridge with 3-wire system	

Gauge factor correction due to the lead wire

The lead wire resistance between the strain gauge and the strainmeter can noticeably lower the gauge factor. Calculation for the correction should be required depending on the measurement method and on the lead wire type and length.

In case of 2-wire	In case of 3-wire system
A: Correction coefficient of lead wire	A: Correction coefficient of lead wire
$A = \frac{R}{R + rL}$	$A = \frac{R}{R + \frac{rL}{2}}$
K ₀ : Gauge factor corrected	K ₀ : Gauge factor corrected
$K_0 = \frac{R}{R + rL} K = A K$	$K_0 = \frac{R}{R + \frac{rL}{2}} K = A K$
.where	R: Nominal gauge resistance (Ω)
K: Gauge factor shown on package	r: Total resistance per meter of lead wire (Ω/m)
	L: Length of lead wire (m)

Total resistance per meter of lead wire

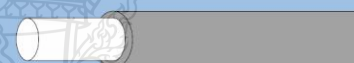
In strain gauges, the lead wire resistance produces a deterioration of gauge sensitivity and thermal drift. The lead wire should always be as thick and as short as possible.

Stranded wire/Twisted wire



Construction core/diameter	7/0.12	10/0.12	7/0.16	7/0.18	12/0.18	20/0.18
Cross section area of lead wire (mm ²)	0.08	0.11	0.14	0.18	0.3	0.5
Total resistance of lead wire per meter (Ω)	0.44	0.32	0.24	0.20	0.12	0.07

Single-core wire



Construction	Polyimide wire (φ 0.14mm)	Polyimide wire (φ 0.18mm)
Cross section area of lead wire (mm ²)	0.015	0.025
Total resistance of lead wire per meter (Ω)	2.5	1.5

Setting the gauge factor to the strainmeter

Static strainmeter/Data Logger

$C_s = \frac{2.00}{K_0}$	C _s : Coefficient set K ₀ : Gauge factor corrected with lead wire attached
--------------------------	---

HIGH TEMPERATURE series "ZF"





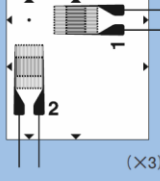



STRAIN GAUGE



Compatible adhesive & Operational temperature
 NP-50 : -20~+300°C
 C-1 : -20~+200°C CN : -20~+120°C

Operational temperature -20~+300°C
 Temperature compensation range +10~+100°C

GENERAL USE

Gauge pattern	Type	Gauge size		Backing		Resistance in Ω	
		L	W	L	W		
<p>This is a foil gauge having a polyimide resin backing. Owing to the use of Ni-Cr alloy and special grid design for the strain sensing element, creep characteristics in high temperature has been much improved.</p> <p>● Single-element (G.F. 2.1 approx.)</p> <p> ZFLA-1  ZFLK-2</p> <p> ZFLA-6</p> <p>● 90° 2-element Cross (G.F. 2.1 approx.)</p> <p>Plane type</p> <p> ZFCA-1-350</p> <p> (X3)</p> <p>● 45°/90° 3-element Rosette (G.F. 2.1 approx.)</p> <p>Plane type</p> <p> ZFRA-1-350</p> <p>Stacked type</p> <p> ZFCAL-1  ZFRAL-1</p> <p>(X3)</p> <p>Each package contains 10 gauges.</p>	Single-element	ZFLK-2-11	2	0.5	5.4	1.4	120
	ZFLA-1-11	1	1.8	7.0	3.0	120	
	ZFLA-3-11	3	1.8	10.5	3.5	120	
	ZFLA-6-11	6	2.5	15.5	4.5	120	
	ZFLA-3-60-11	3	0.7	7.7	2.6	60	
	Single-element 350 Ω	ZFLA-1-350-11	1	1.7	6.6	3.2	350
	ZFLA-3-350-11	3	3.2	10.2	5.1	350	
	ZFLA-6-350-11	6	2.8	16.0	5.5	350	
	90° 2-element Cross, Plane type 350 Ω	ZFCA-1-350-11	1	1.7	8.5	8.5	350
	ZFCA-3-350-11	3	1.4	10.5	10.5	350	
	Stacked type	ZFCAL-1-11	1	1.0	ϕ 5.4	120	
	45°/90° 3-element Rosette, Plane type 350 Ω	ZFRA-1-350-11	1	1.7	8.5	8.5	350
	ZFRA-3-350-11	3	1.4	10.5	10.5	350	
	Stacked type	ZFRAL-1-11	1	1.0	ϕ 5.4	120	

For self-temperature-compensated (S-T-C) gauge, other linear thermal expansion coefficient is also available such as for stainless steel and aluminium alloy.

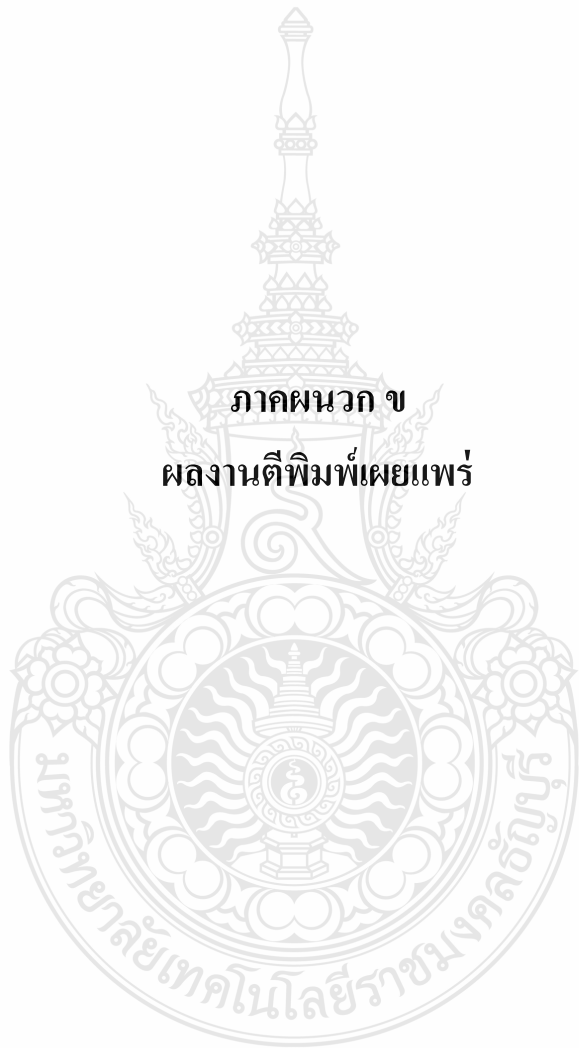
Leadwire-integrated ZF series (made-to-order)




Operational temperature range varies with different materials of lead wire outer sheath. Before use, be sure the temperature range for lead wire.

Lead wires	Operational temperature range	Gauge type exemplified	Colors of Lead wire
2-wire Parallel vinyl wire	-20~+80°C	L : ZFLA-3-350-11-3LJC	Grey
3-wire Parallel vinyl wire	-20~+80°C	LT : ZFLA-3-350-11-3LJCT	Blue stripe
Crosslinked vinyl sheath wire	-10~+100°C	LJRT : ZFLA-3-350-11-3LJRTA	Red-Green-Black
3-wire strand FEP sheath wire	-269~+200°C	6F : ZFLA-3-350-11-6FA-3LT	Red-Green-Blue (7-core 0.18mm-dia.)
		6F : ZFLA-3-350-11-6FB-3LT	Red-Green-Blue (Single-core 0.2mm-dia.)
3-wire strand PTFE sheath wire	-269~+260°C (+300°C usable for short time measurement)	4F : ZFLA-3-350-11-4FA-3LT	Red-Black-White (7-core 0.16mm-dia.)
		4F : ZFLA-3-350-11-4FB-3LT	Red-Black-White (Single-core 0.2mm-dia.)

* Red is independent wire.

ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



บทคัดย่อ
Abstracts

The **23rd** การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย
 ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 23
 National Graduate Research Conference
 คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
 วันที่ 23-24 ธันวาคม 2554

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 PHILIPPINES
 BRUNEI DARUSSALAM

ณ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
 Faculty of Sciences and Liberal Arts
 Rajamangala University of Technology Isan

www.sci.rmuti.ac.th

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 23

รหัส		หน้า
	การนำเสนอผลงานแบบบรรยาย วิทยาศาสตร์กายภาพและเทคโนโลยี	
1013	การสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องวัดแรงดึงสายไฟฟ้า ศุภกฤษ สุขเจริญ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	3
1014	การจำแนกข้อมูลโดยการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญ จิราภรณ์ ถมแก้ว สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	4
1016	การศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งโรงงานอาหารฮาลาลแปรรูป ในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ จิณฉัตร อนันตมาศ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	5
1022	การพัฒนาระบบคำนวณภาระงานบุคลากร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน กรณีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ เอกลักษณ์ ฉิมจรรย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	6
1065	The Order of Elements of the Semigroups $(W_T(X_2))^2$ and $(W_T(X_3))^3$ Damrongsak Punyathip, Khon Kaen University	7
1099	โปรแกรมจัดการโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงภายนอกอาคาร จงเจริญ แจ้งมาก มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต	8
1115	ระบบแจ้งข่าวสารและกำหนดตำแหน่งภาพถ่ายผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ อนก มหาสมุทร มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต	9
1120	การนำเทคโนโลยี RFID มาประยุกต์ใช้ในโรงพยาบาลสัตว์ รัตนา แซ่คู มหาวิทยาลัยขอนแก่น	10
1123	การปรับปรุงคุณภาพข้าวเกรียบกล้วยหอม อรอนงค์ ศรีพาทกุล มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	11
1131	การปรับปรุงคาร์ตแหวนแมคคานิคอลซิล อาทิตย์ แสนนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	12
1144	ต้นแบบระบบกำหนดการใช้งานอย่างยุติธรรมในโครงข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย ภาณุพงศ์ สายไพศรี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต	13
1146	Hindered Diffusion of Spherical Particles through a Single Row of Parallel Fibers Piya Phalakhoj, Chulalongkorn University	14
1149	การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการประมวลผลสัญญาณในการหาตำแหน่ง การเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้นจุดเดียวและสองจุดพร้อมกันรวมทั้งฟอลต์แบบอิมพีแดนซ์สูงใน ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า สุรสิทธิ์ สงบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	15

การปรับปรุงคาร์ตแหวนแมคคานิคอลซีล
Adjustment of Mechanical Seal Constriction

อาทิตย์ แสนนาม* พิพัฒน์ ปราโมทย์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี

บทคัดย่อ

แมคคานิคอลซีลเป็นที่นิยมใช้งานกันมาก การเลือกแมคคานิคอลซีลแบบฝัງแหวนเนื่องมาจากสามารถซ่อมแมคคานิคอลซีลได้ง่ายและใช้เวลาไม่นาน แต่ไม่สามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิที่มากกว่า 100 องศาเซลเซียสได้ ดังนั้นได้จึงปรับปรุงคาร์ตแหวนในการทดสอบจะใช้สแตนเลส เกรด 304 มาใช้เป็นเสีร์ตแหวนคาร์บอน ในการทดสอบนำเกจวัดความเครียดมาติดที่ชุดแมคคานิคอลซีล แบบฝัງแหวน จากนั้นนำแมคคานิคอลซีลไปทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงความเครียดเนื่องจากการขยายตัวของแมคคานิคอลซีลแบบฝัງแหวนจาก มิเตอร์วัดความเครียดจากการทดลองอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ 150 องศาเซลเซียส ความดันคงที่ 20 บาร์ ใช้เวลา 30 นาที ไม่พบการรั่วที่ขอบแหวนของชุดแมคคานิคอลซีล ดังนั้นจากการปรับปรุงคาร์ตแหวนสแตนเลส 304 สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 20 บาร์

คำสำคัญ: คาร์ตแหวนแมคคานิคอลซีล



**คณะกรรมการจัดการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย
ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 23**

1. คณะกรรมการอำนวยการ

อธิการบดี	ประธานกรรมการ
รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร	กรรมการ
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ	กรรมการ
รองอธิการบดีฝ่ายกิจการนักศึกษา	กรรมการ
รองอธิการบดีฝ่ายวางแผนและพัฒนา	กรรมการ
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและฝึกอบรม	กรรมการ
รองอธิการบดีฝ่ายกิจการทั่วไป	กรรมการ
รองอธิการบดีประจำวิทยาเขตกาฬสินธุ์	กรรมการ
รองอธิการบดีประจำวิทยาเขตขอนแก่น	กรรมการ
รองอธิการบดีประจำวิทยาเขตสกลนคร	กรรมการ
รองอธิการบดีประจำวิทยาเขตสุรินทร์	กรรมการ
คณบดีคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี	กรรมการ
คณบดีคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	กรรมการ
คณบดีคณะทรัพยากรธรรมชาติ	กรรมการ
คณบดีคณะเทคโนโลยีการจัดการ	กรรมการ
คณบดีคณะเทคโนโลยีสังคม	กรรมการ
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร	กรรมการ
คณบดีคณะบริหารธุรกิจ	กรรมการ
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	กรรมการ
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์	กรรมการ
คณบดีคณะศิลปกรรมและออกแบบอุตสาหกรรม	กรรมการ
คณบดีคณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี	กรรมการ
ผู้อำนวยการสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ	กรรมการ
ผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน	กรรมการ
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา	กรรมการ
ผู้อำนวยการสำนักงานอธิการบดี	กรรมการ
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์	กรรมการและเลขานุการ

2. คณะกรรมการดำเนินงาน

รศ. ดร.สนั่น การค้า	ประธานกรรมการ
ผศ.รัตนากร ยิ้มประเสริฐ	รองประธานกรรมการ
รศ.บุญตา ช่วยมาก	กรรมการ
ผศ.อนุสรณ์ ศิริอนันต์	กรรมการ
ผศ.ปรีชา หอยสังข์	กรรมการ
นายเอกชัย แซ่จิ่ง	กรรมการ
ผศ.ดร.รัชนิวรรณ การค้า	กรรมการ
ผศ.สุทธาธิกุล กาญจนกรางกูร	กรรมการ
นางมยุรี สำตาลี	กรรมการ
ผศ.ลดาวัลย์ จิวแจ่มใส	กรรมการ

ดร.พรทิพย์ ศรีเมือง	กรรมการ
ดร.ชาคริต นวลฉิมพลี	กรรมการ
ดร.ศศิธร อินทร์นอก	กรรมการ
นางสุรีย์ ถินสูงเนิน	กรรมการ
ดร.อายุทส ลิ้มพิรัตน์	กรรมการและเลขานุการ
นางพนิดา หล่อวงศ์ตระกูล	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

3. คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ

รศ.ดร.สนั่น การค้า	ประธานกรรมการ
ผศ.รัตนากร ยิ้มประเสริฐ	รองประธานกรรมการ
รศ.บุญตา ช่วยมาก	กรรมการ
ผศ.ดร.รัชนีวรรณ การค้า	กรรมการ
ผศ.ดร.จตุรวิทย์ เทวะธีระรัตน์	กรรมการ
ผศ.ปรีชา หอยสังข์	กรรมการ
ผศ.สุทธาธิกุล กาญจกรางกูร	กรรมการ
ผศ.ลดาวลัย จิวแจ่มใส	กรรมการ
ผศ.วิมล วิวัฒน์เจริญ	กรรมการ
ผศ.ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ	กรรมการ
ผศ.นัฐวุฒิ ทิพย์โยธา	กรรมการ
ผศ.ดร.ธวัช เกิดชื่น	กรรมการ
ดร.ศุภปิยะ สิริระนนท์	กรรมการ
ดร.ชาคริต นวลฉิมพลี	กรรมการ
ดร.ผไทเทพ รักษา	กรรมการ
ดร.ศศิธร อินทร์นอก	กรรมการ
ดร.คมสันท์ ขัติยะ	กรรมการ
ดร.กฤษติกา เวชกลาง	กรรมการ
ดร.พรทิพย์ ศรีเมือง	กรรมการ
ดร.อาทิตย์ อัครสุชี	กรรมการ
ดร.บัณฑิต กฤตาคม	กรรมการ
ดร.वलันต์ ศรีเมือง	กรรมการ
ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์	กรรมการ
ดร.จิระยุทธ สิบสุข	กรรมการ
ดร.พินิจ ศศิธร	กรรมการ
ดร.ปรีชา ชันติโกมล	กรรมการ
นายเอกชัย แซ่จิ่ง	กรรมการ
ว่าที่ รต.ณัฐชัย อนันตกาล	กรรมการ
นายรพีพงศ์ เปี่ยมสุวรรณ	กรรมการ
นายวันเฉลิม พูนสวัสดิ์	กรรมการ
นายวุธยา สิบเทพ	กรรมการ
นางสาวสิตาภา เกื้อคลัง	กรรมการ
นายณัฐวุฒิ สุขไชยจิต	กรรมการ
นางสาวรัตนฐาภัทร บุญเกิด	กรรมการ
นายอนุชา กล้าน้อย	กรรมการ
นางสาวอัญชลี วีระชัยสันติกุล	กรรมการ

นายตรีศ สามารถ
ดร.อายุธ ลิมพิรัตน์
ดร.ภราดร หนูทอง
นางพนิดา หล่อวงศ์ตระกูล

กรรมการ
กรรมการและเลขานุการ
กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ
กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ



การปรับปรุงค่ารััดแหวนแมคคานิคอลซีล Adjustment of Mechanical Seal Constriction

อาทิตย์ แสนนาม* พัทธพันธ์ ปราโมทย์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี

บทคัดย่อ

แมคคานิคอลซีลเป็นที่นิยมใช้งานกันมาก การเลือกแมคคานิคอลซีลแบบฝึ่งแหวนเนื่องจากสามารถซ่อมแมคคานิคอลซีลได้ง่ายและใช้เวลาไม่นาน แต่ไม่สามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิที่มากกว่า 100 องศาเซลเซียสได้ ดังนั้นได้จึงปรับปรุงค่ารััดแหวนในการทดสอบจะใช้สแตนเลส เกรด 304 มาใช้เป็นเสื่อรััดแหวนคาร์บอน ในการทดสอบนำเกจวัดความเครียดมาติดที่ชุดแมคคานิคอลซีล แบบฝึ่งแหวน จากนั้นนำแมคคานิคอลซีลไปทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงความเครียดเนื่องจากการขยายตัวของแมคคานิคอลซีลแบบฝึ่งแหวนจาก มิเตอร์วัดความเครียด จากการทดลองอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ 150 องศาเซลเซียส ความดันคงที่ 20 บาร์ ใช้เวลา 30 นาที ไม่พบการรั้วที่ขอบแหวนของชุดแมคคานิคอลซีล ดังนั้นจากการปรับปรุงค่ารััดแหวนสแตนเลส 304 สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 20 บาร์

คำสำคัญ: ค่ารััดแหวนแมคคานิคอลซีล

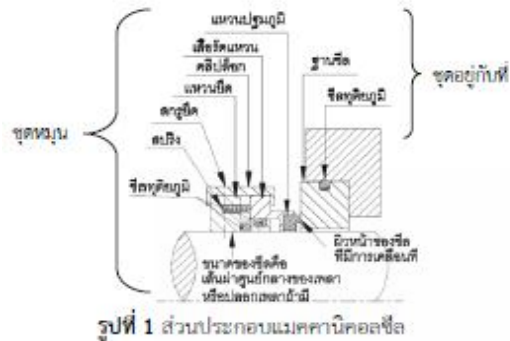
บทนำ

แมคคานิคอลซีลเป็นอุปกรณ์ป้องกันการรั้วไหลตามแนวแกนเพลลาของปั๊มที่ทำงานโดยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump) ซึ่งเป็นเครื่องจักรหลักในอุตสาหกรรมที่ใช้แมคคานิคอลซีล ที่ติดตั้งอยู่ในปั๊มดังกล่าวจะเป็นอันตรายเมื่อมีความร้อนสูงขึ้น และสาเหตุเลือกแมคคานิคอลซีลแบบฝึ่งแหวน เนื่องจากสามารถซ่อมแมคคานิคอลซีลได้ง่ายและใช้เวลาไม่นานแต่ไม่สามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ได้ หรือเมื่อใช้งานได้ ระยะหนึ่งก็เกิดการหลุดของแหวนที่ใช้ทำหน้าสัมผัสแมคคานิคอลซีล เป็นผลให้เกิดปัญหาการรั้วไหลและเกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงได้ศึกษา การออกแบบ แมคคานิคอลซีล แบบฝึ่งแหวน ใช้งานกับน้ำ เพื่อผลิตแมคคานิคอลซีลที่มีความเหมาะสมกับสภาวะการใช้งานที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 100 องศาเซลเซียส และมีความดันไม่น้อยกว่า 5 บาร์วัสดุที่ใช้แหวนปฐมภูมิคาร์บอนแอนติโมนี ฐานซีล ซิลิคอนคาร์ไบด์ ขนาด \varnothing 1.125 นิ้ว เสื่อสแตนเลส 304 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง Adams, William [1] การประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้องกับซีลแหวนสำหรับการซีลเพลลาที่มีการหมุน, ซีลประกอบด้วยส่วนของเสื่อและแหวนซีล, ซึ่งจะจัดวางซีลเข้าด้วยกัน เสื่อบีบรัดแหวนซีลและหมุนไปด้วยกัน แหวนซีลจะถูกยึดอยู่ในเสื่อด้วยค่ารััดแหวน ในการประกอบ หน้าสัมผัสที่ประกอบเข้ากับเสื่อนั้น จะให้แรงกดในแนวรัศมีมีการหดตัวที่จุด เซนทรอย ของพื้นที่หน้าตัดของแหวนซีล, เพื่อให้มั่นใจว่าแรงของการหดตัวอยู่ในจุดเซนทรอยของพื้นที่หน้าตัดของแหวนซีล อย่างน้อยหน้าสัมผัสที่สัมผัสกันในการหดตัวพอดี

จุดสูงสุดของพื้นผิวโค้งอยู่ในระนาบแนวรัศมีที่ขยายไปถึงจุดเซนทรอย ของพื้นที่หน้าตัดของแหวน Lummila; Markku และคณะ [2] การสร้างแมคคานิคอลซีลที่มีหน้าสัมผัสเป็นวงแหวน, วัสดุที่ใช้ควรเป็นทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ที่ใช้ในการประกอบเข้ากับเสื่อ ลักษณะเสื่อ ที่ใช้รััดจะมีการตัดข้างออก แล้วทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวที่มีประสิทธิภาพระหว่างเสื่อและแหวนที่ใช้ทำหน้าสัมผัส

วิธีการวิจัย

สำหรับชิ้นส่วนหลักของแมคคานิคอลซีลมีดังต่อไปนี้ แหวนปฐมภูมิ (Primary ring) เป็นวงแหวนที่ออกแบบให้มีการยึดหยุ่นขยับเขยื้อนเพื่อชดเชยการหมุนแบบเอียงศูนย์และการเคลื่อนที่ตามแนวแกนเพลลาได้เล็กน้อยและทำหน้าที่เป็นด้านหนึ่งของหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล ฐานซีล (stationary ring) เป็นวงแหวนที่ยึดติดตรงกับตัวเรือนของปั๊มทำหน้าที่เป็นหน้าสัมผัสของแมคคานิคอลซีล ซีลทุติยภูมิ (Secondary seal) เป็นชิ้นส่วนที่ช่วยให้แหวนปฐมภูมิมีความยึดหยุ่นในการเคลื่อนไหวในแนวแกนและแนวเส้นรอบวงได้เพียงเล็กน้อย ในขณะที่ชิ้นส่วนต่างๆ ยังคงทำหน้าที่การซีลได้อย่างถูกต้อง สปริง (Spring) แมคคานิคอลซีลแบบทุกชนิดจะมีสปริงเป็นตัวสร้างแรงกดตามแนวรอบของหน้าสัมผัสทั้งสองปิดสนิทติดกันอยู่ตลอดเวลา เพื่อป้องกันการรั้วไหลระหว่างช่องว่างของหน้าสัมผัส



ชุดขับเคลื่อน (Drive Mechanism) เป็นชิ้นส่วนที่ทำให้แหวนปฐมภูมิมีการเคลื่อนที่หมุนไปพร้อมกับเพลลาของปั๊มเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่สัมผัสกันระหว่างหน้าสัมผัสตามแนวแกน [3]

การจำแนกแมคคานิคอลซีลโดยการจัดกลุ่ม แยกออกได้สองกลุ่มคือ

1. การติดตั้งซีลแบบเดี่ยวแบ่งได้อีกสองลักษณะคือ การติดตั้งภายในและการติดตั้งภายนอก
2. การติดตั้งซีลแบบซ้อนแบ่งได้อีกสองลักษณะคือ ซีลแบบคู่และซีลแบบเรียงกัน

ซีลแบบเดี่ยว (Single Seals) จะใช้งานทั่วไป ซีลแบบนี้เป็นซีลที่มีชิ้นส่วนน้อยที่สุด จัดว่าเป็นซีลที่มีรูปแบบง่ายที่สุด การติดตั้งอาจจะอยู่ภายนอกหรืออยู่ภายในห้องบรรจุอุปกรณ์กันรั่ว (stuffing box) โดยมากแล้วจะติดตั้งอยู่ภายในความดันของเหลวที่อยู่ในห้องบรรจุอุปกรณ์กันรั่ว จะก่อให้เกิดแรงบดสับเพื่อให้ผิวหน้าของซีลสัมผัสกันการติดตั้งแบบภายนอกใช้งานที่มีความดันต่ำๆ และกรณีที่ต้องการให้มีการกัดกร่อนน้อยที่สุดถ้าชิ้นส่วนของซีลไปเจอของเหลว

การติดตั้งซีลแบบซ้อนซีลแบบคู่ (Double Seals) ประกอบด้วยซีลแบบเดี่ยวหันหลังชนกัน ตัว primary ring จะอยู่ตรงข้ามกัน ของเหลวภายนอกที่มาหล่อลื่นเลี้ยวซีลมีความดันสูงกว่าของเหลวในห้องบรรจุอุปกรณ์กันรั่ว (stuffing box) ซีลแบบคู่อาจจะวางแบบหันหน้าเข้าหากัน (face to face) โดยมีซีลชุดแรกสองตัว หนุนอยู่บนชุดหน้าสัมผัสร่วมกัน ซีลแบบซ้อน (Multiple Seals) ใช้กับงานที่ต้องการของเหลวภายนอกมาหล่อลื่น ด้านหน้าการกัดกร่อน [4]

จากความเครียดขึ้นต้นเป็นความเค้นที่เกิดขึ้นก่อนทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress - strain relations) โดยทั่วๆ ไปสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ ดังนี้

$$\{\sigma\} = [C]\{\epsilon - \epsilon_0\} \quad (1)$$

$\{\sigma\}$ - เมตริกซ์ของความเค้น

$[C]$ - เมตริกซ์ของความเค้นและความเครียด

วิธีการดำเนินการวิจัย

เงื่อนไขในการทดสอบแมคคานิคอลซีล ชุดทดสอบทำงานความเร็วรอบในการทดสอบ 1,450 รอบต่อนาที ความดันใช้งานไม่น้อยกว่า 5 บาร์ อุณหภูมิใช้ทดสอบไม่มากกว่า 100 องศาเซลเซียส แมคคานิคอลซีล แบบฝึ่งแหวนใช้วัสดุคาร์บอนแอนดิมอนิเป็นแหวนปฐมภูมิ ,ซิลิคอนคาร์ไบด์เป็นฐานซีล และโอริงแอฟฟลาฟ การทดสอบแมคคานิคอลซีลแบบฝึ่งแหวน ชนิดการประกอบแบบติดตั้งภายนอกปั๊ม

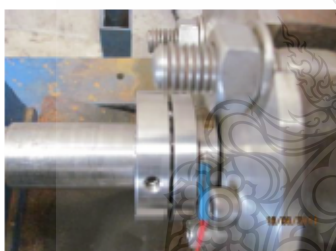


ทำการปรับค่ารััดแหวนของแมคคานิคอลซีล จากนั้นทำการฝึ่งแหวนเข้าในเสื้อ สเตนเลส 304 ทำการติดเกจวัดความเครียด ที่ชุดแมคคานิคอลซีล แล้วประกอบแมคคานิคอลซีลเข้าเครื่องทดสอบแบบไม่มีการหมุน



รูปที่ 5 แม่คานาคอลซิลแบบฝึ้งแหวน

การทดสอบการขยายตัวของสแตนเลส 304 อุณหภูมิ เริ่มต้นในการทดสอบ 50 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิที่ เครื่องทดสอบขึ้นเป็น 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พร้อมทั้งบันทึกค่า ความเครียดที่อ่านได้จากมิเตอร์วัดความเครียด และสังเกตว่ามีการร้าวของแม่คานาคอลซิลหรือไม่ ในกรณีที่ไม่พบการร้าวที่ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นำแม่คานาคอลซิลไปทดสอบ แบบเดินเครื่อง อุณหภูมิเริ่มต้นในการทดสอบ 50 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิที่เครื่องทดสอบขึ้นไปจนถึง 150 องศาเซลเซียส



รูปที่ 6 ทดสอบแม่คานาคอลซิลแบบฝึ้งแหวน

ผลการศึกษาวิจัยและการอภิปรายผล

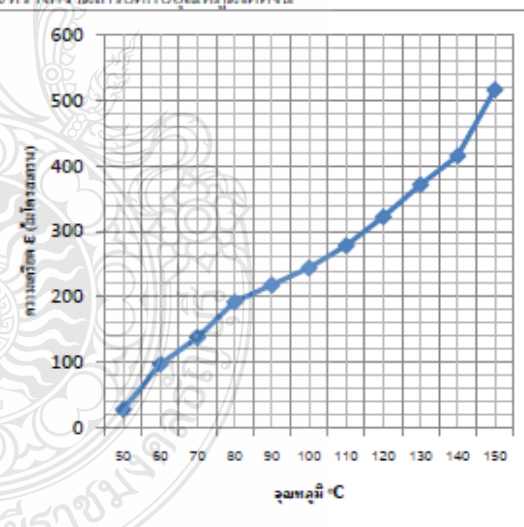
จากข้อมูลจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเครียดของสแตนเลสจะมีค่า 28 ไมโคร สเตรน และเมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้สแตนเลส เกรด 304 มีการขยายตัว เนื่องจากอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความเครียด ของสแตนเลสจะมีค่า 516 ไมโครสเตรน ภายใต้ความดัน 20 บาร์ ไม่พบการร้าวที่ขอบแหวนแม่คานาคอลซิล

การทดสอบการใช้งานแม่คานาคอลซิลแบบฝึ้งแหวน ที่ ความเร็ว 1,450 รอบต่อนาทีอุณหภูมิเริ่มต้นในการทดสอบ 50 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิที่เครื่องทดสอบขึ้นเป็น 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พร้อมทั้งบันทึกค่าความดัน

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดสอบการขยายตัวของสแตนเลส 304 แม่คานาคอลซิลแบบฝึ้งแหวน เวลา 30 นาที

อุณหภูมิ (°C)	ไมโครสเตรน (μE)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
50	30	28	27	28
60	99	96	97	97
70	140	137	138	138
80	190	191	194	192
90	220	217	217	218
100	242	247	244	244
110	280	277	277	278
120	320	321	323	322
130	373	370	371	371
140	414	415	415	415
150	517	516	516	516

จากตารางที่ 1 นำค่าเฉลี่ยมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับอุณหภูมิได้ดังนี้



รูปที่ 7 ผลการทดสอบการแม่คานาคอลซิลฝึ้งแหวน

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

แม่คานาคอลซิลแบบฝึ้งแหวนก่อนทำการปรับปรุงค่ารัตแหวน ไม่สามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิที่มากกว่า 100 องศาเซลเซียสได้ ผลที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการรัตแหวนมีค่าลดลงไปตามอุณหภูมิที่ เพิ่มขึ้น กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นความสามารถในการรัต แหวนก็จะลดลงสังเกตจากค่าที่วัดได้จากมิเตอร์วัดความเครียด

ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส อ่านค่าความเครียดจากมิเตอร์ ได้ 516 ไมโครสเตรน แต่อย่างไรก็ตามภายใต้ความดันที่ 20 บาร์ไม่พบการรั่วที่ขอบแหวนแมคคานิคอลซีล ดังนั้นจากการปรับปรุงคาร์ดแหวนแอสตันเลส 304 สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 20 บาร์

ตารางที่ 2 บันทึกผลการทดสอบการใช้งานแมคคานิคอลซีลแบบฝังแหวน ที่ความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที เวลาทดสอบ 30 นาที

อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (bar)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
50	0	0	0	0
60	0	0	0	0
70	0	0	0	0
80	0	0	0	0
90	2	2	2	2
100	2	4	4	4
110	8	6	7	7
120	14	15	14	14
130	20	20	20	20
140	20	20	20	20
150	20	20	20	20

ข้อเสนอแนะ

การทดสอบครั้งนี้ทำให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับคาร์ดแหวนแมคคานิคอลซีล ที่ใช้งานกับน้ำ ซึ่งสามารถนำไปใช้การเปรียบเทียบเมื่อมีการพัฒนาทดสอบกับผลิตภัณฑ์ อื่นๆ เช่น น้ำมันร้อน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ซีโรว์ ลีค จำกัด ผู้ผลิตและจำหน่ายแมคคานิคอลซีล ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลและชิ้นส่วนแมคคานิคอลซีล

เอกสารอ้างอิง

- [1] Adams. Mechanical seal construction. United States Patent 3,765,689. October 16, 1973
- [2] Lummila , et al. Slide ring seal. United States Patent 4,773,655. September 27, 1988
- [3] บริษัท ซีโรว์ ลีค จำกัด, 2543. คู่มือฝึกอบรม แมคคานิคอลซีล.
- [4] J.D. Summers-smith, Mechanical seal practice for improved performance. London

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอาทิตย์ แสนนาม
วัน เดือน ปีเกิด	17 ตุลาคม 2525
ที่อยู่	74/21 ม.1 ซ.บ้านหนองบัว ต.หมากแข้ง อ.เมืองอุดรธานี จ.อุดรธานี 41000
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี พ.ศ. 2549
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ 2550 - 2551	เจ้าหน้าที่เขียนแบบ บ.ซีโร่-ลิก จำกัด
พ.ศ 2552-2552	เจ้าหน้าที่วิจัยและพัฒนา บ.ซีโร่-ลิก จำกัด
พ.ศ 2553 - ปัจจุบัน	หัวหน้าส่วนงานวิจัยพัฒนาและควบคุมคุณภาพ บ.ซีโร่-ลิก จำกัด

